

WAGNER ANTONIO CHUEIRI

**LODO DE ESGOTO ALCALINO E FERTILIZANTE:
EFEITOS SOBRE A QUÍMICA DO SOLO E PLANTAS DE TRIGO**

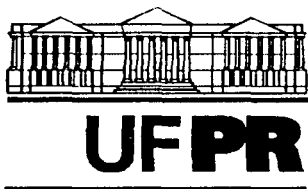
Dissertação apresentada como requisito à obtenção do grau de Mestre, Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Beatriz M. S. Prevedello

Co-orientadores: Prof. Dr. Luiz A. C. Lucchesi
Prof.^a M. Sci. Nerilde Favaretto
Dr. Jonathan Biele

CURITIBA

2001



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA: CIÊNCIA DO SOLO(MESTRADO) e
MONITORAMENTO, MODELAGEM E GESTÃO AMBIENTAL(DOUTORADO)
Rua dos Funcionários, 1540-Curitiba/PR-80035-050-Fone/Fax 41-350-5648
E-mail: pgcisol@agrarias.ufpr.br

P A R E C E R

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pelo candidato **WAGNER ANTONIO CHUEIRI**, com o título: "**Lodo de esgoto alcalino e fertilizante: efeitos sobre a química do solo e plantas de trigo**", para obtenção do grau de Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo" do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato, são de Parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Dissertação, com o conceito "**A**", completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo"**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", em Curitiba 23 de fevereiro de 2001.

Profa. Dra.  Beatriz Monte Serrat Prevedello, Presidente

Enga. Agra. Dra.  Ana Rosa dos Anjos Sirtoli, Iª Examinadora

Prof. Dr.  Cleverson Vitorio Andreoli, II Examinador.



Cada um constrói, dia por dia, hora por hora, muitas vezes sem mesmo saber, o seu próprio futuro. A sorte que nos cabe na vida atual foi preparada pelas nossas ações anteriores; da mesma forma, edificamos no presente as condições da existência futura.

LEON DENIS

Dedico este trabalho aos meus pais e irmãos, por sempre me espelharem o caminho do caráter e da dignidade, e, especialmente, à minha esposa Jociane, que sempre apoiou minha vida acadêmica.

AGRADECIMENTOS

A todos que colaboraram para a realização deste trabalho e, de forma especial,

à profa. Dra. Beatriz M. S. Prevedello, pela orientação e compreensão;

aos professores Luiz A. C. Lucchesi e Nerilde Favaretto, pela co-orientação;

aos professores Jonathan Biele e Clarice Freire, pela orientação nas análises estatísticas;

ao professor Antonio Carlos V. Motta, pela freqüente disposição em ajudar;

aos colegas dos laboratórios de Nutrição de Plantas, Física do Solo e Fertilidade de Solo, principalmente ao Rui Barbosa da Silva, pela boa vontade com que colaborou;

aos colegas da Biblioteca do Setor de Ciências Agrárias, pela presteza durante a pesquisa, com destaque para Maria Simone;

aos colegas do curso, Cristina Barcick e Iolanda Soresine, pela colaboração e pela convivência;

à Silvana Sefrim, pela de revisão gramatical;

à minha esposa Jociane, pelo valoroso apoio nas correções finais deste trabalho;

à Universidade Federal do Paraná, por ter me recebido e disponibilizado toda sua estrutura;

à Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela bolsa de estudo de pós-graduação a mim concedida durante 30 meses.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	viii
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 CARACTERIZAÇÃO DO LODO DE ESGOTO	4
2.2 EFEITOS DO LODO SOBRE O SOLO E AS PLANTAS	9
3 MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO	16
3.2 SOLO	16
3.3 LODO DE ESGOTO	17
3.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	19
3.5 TRATAMENTOS E INSTALAÇÃO	19
3.6 AVALIAÇÕES	22
3.6.1 Amostragem e Análise Química do Solo	22
3.6.2 Amostragem e Análise das Plantas	23
3.7 ANÁLISE DOS DADOS	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1 O LODO E A FERTILIDADE DO SOLO	27
4.2 LODO E FERTILIZANTE: RESPOSTAS DAS PLANTAS DE TRIGO	34
4.3 EFEITOS DO LODO NO SOLO AO LONGO DO TEMPO.....	41
5 CONCLUSÃO	43
6 SUGESTÃO.....	44
ANEXOS	45
REFERÊNCIAS	63

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - PLANTA DA ETE-BELÉM	5
FIGURA 2 - SISTEMA ELEVATÓRIO	5
FIGURA 3 - GRADEAMENTO	5
FIGURA 4 - DESARENADOR	5
FIGURA 5 - TANQUES DE AERAÇÃO	5
FIGURA 6 - AERADOR.....	5
FIGURA 7 - PENEIRAMENTO.....	20
FIGURA 8 - HOMOGENEIZAÇÃO.....	20
FIGURA 9 - ADIÇÃO DO LODO DILUÍDO AO SOLO	20
FIGURA 10 - ASPECTO FÍSICO DO LODO ÚMIDO	20
FIGURA 11 - APLICAÇÃO DO FERTILIZANTE NO SULCO	21
FIGURA 12 - GRANULOMETRIA DA SÍLICA E DAS FONTES.....	21
FIGURA 13 - ABERTURA DOS ORIFÍCIOS DE SEMEADURA	22
FIGURA 14 - DETALHE DA SEMEADURA DO TRIGO	22
FIGURA 15 - PONTOS DE AMOSTRAGEM DE SOLO APÓS O CORTE DO TRIGO	22
FIGURA 16 - TEMPERATURAS MÍNIMAS E MÁXIMAS OCORRIDAS NA CASA DE VEGETAÇÃO DESDE A SEMEADURA (12/6/97) ATÉ O CORTE (5/9/97) DAS PLANTAS DE TRIGO	24
FIGURA 17 - EFEITO DO LODO DE ESGOTO SOBRE O pH, V%, P, Ca, Mn e H+Al DO SOLO APÓS 20 DIAS DA APLICAÇÃO	27
FIGURA 18 - NÍVEL DE EQUILÍBRIO DE Mn, Fe, Zn e Cu, EXTRAÍDO POR DTPA EM COMPETIÇÃO COM Ca ²⁺ e Mg ²⁺	32
FIGURA 19 - EFEITO NEGATIVO DO LODO SOBRE O TRIGO.....	34
FIGURA 20 - EFEITO POSITIVO DO FERTILIZANTE SOBRE O TRIGO.....	34

FIGURA 21 - EFEITOS DO LODO E DO FERTILIZANTE SOBRE PARÂMETROS MORFOLÓGICOS E A PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DO TRIGO	35
FIGURA 22 - FEITOS DO LODO E DO FERTILIZANTE SOBRE O TEOR DE K e N NO TECIDO VEGETAL VEGETAL	36
FIGURA 23 - EFEITOS DO LODO SOBRE O TEOR DE Mn NO TECIDO VEGETAL	37
FIGURA 24 - EFEITOS DO LODO E DO FERTILIZANTE SOBRE A PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA E OS TEORES DE N, K, Mn, Cu, Mg e Zn NAS PLANTAS DE TRIGO (F= FERTILIZANTE, L= LODO, 1 A 5 = DOSES)	38
FIGURA 25 - EFEITOS DO LODO E DO FERTILIZANTE SOBRE A EXTRAÇÃO DE N, K, Mg e Zn PELAS PLANTAS DE TRIGO.....	40
FIGURA 26 - EFEITOS DO LODO AO LONGO DO TEMPO SOBRE AS VARIÁVEIS SOLO.....	41

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO LODO DE ESGOTO PRODUZIDO PELA ETE-BELÉM	7
TABELA 2 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS MÉDIAS DO LODO DE ESGOTO PRODUZIDO PELA ETE-BELÉM (EM % DE PESO SECO)	7
TABELA 3 - TEOR DE METAIS PESADOS NO LODO DE ESGOTO	8
TABELA 4 - CONCENTRAÇÃO MÉDIA (17 AMOSTRAS) DE PATÓGENOS (POR 100 GRAMAS DE PESO SECO DO LODO) NO LODO BRUTO E NO TRATADO COM TRATADO COM CAL NA PROPORÇÃO DE 50% EM RELAÇÃO AO PESO SECO DA ETE-BELÉM (AERÓBIO)	8
TABELA 5 - CONCENTRAÇÃO DE METAIS PESADOS EM LODOS DE ESGOTO DA ETE-BELÉM E OUTRAS LOCALIDADES E LIMITES ESTABELECIDOS POR ESTABELECIDOS POR DIFERENTES LEGISLAÇÕES	9
TABELA 6 - ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO EM AMOSTRAS DE CAMPO NA PROFUNDIDADE DE 0 a 20 cm	16
TABELA 7 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO LODO DE ESGOTO (EM BASE SECA) PRODUZIDO PELA ETE-BELÉM	18
TABELA 8 - COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO (r^2) PARA A CTC E OS TEORES DE K, Cu e Zn NO SOLO	26
TABELA 9 - COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO (r^2) PARA A EXTRAÇÃO/VASO DE P, Ca, Mn e Fe	37

RESUMO

Com o objetivo de avaliar o lodo de esgoto alcalino (pH 11,6) como complemento da adubação mineral, instalou-se experimento em vaso, utilizando-se a camada de 0 a 20 cm de um Latossolo Vermelho distrófico, de textura média e pH 6,2 (CaCl_2 0,01 M). A cultura em estudo foi o trigo. O delineamento experimental foi o fatorial 4 x 4, no qual combinou-se 0, 25, 50, 75 e 100% da adubação mineral recomendada oficialmente para a cultura, com doses de 0; 2,5; 5,0; 7,5 e 10,0 Mg ha^{-1} do lodo de esgoto alcalinizado em base seca. O lodo foi homogeneizado com o solo de cada vaso 20 dias antes da semeadura do trigo. O fertilizante foi aplicado no dia da semeadura. Foram mantidas 3 plantas por vaso, que receberam avaliações morfológicas, e após o corte das mesmas determinou-se a produção de matéria seca e teores de nutrientes no tecido da planta inteira. Avaliaram-se os efeitos do lodo no solo aos 20 e aos 100 dias da sua aplicação. Os dados submetidos à análise de regressão mostraram que depois de 20 dias da aplicação do lodo houve elevação do pH do solo, que ultrapassou a neutralidade nas doses de 7,5 e 10,0 Mg ha^{-1} . Elevou-se também a saturação por bases (V%), CTC e teores de P, K, Ca, Cu e Zn, enquanto o Mn e H+Al tiveram seus teores reduzidos. O Mg, C e Fe não sofreram alterações em seus teores. Na avaliação aos 100 dias, utilizou-se somente as médias dos tratamentos com lodo, sem fertilizante, e comparou-se com a avaliação dos 20 dias. Verificou-se que o efeito residual do lodo foi pequeno, para a maioria dos parâmetros avaliados. Na avaliação morfológica das plantas de trigo, o lodo reduziu a estatura, o diâmetro do colmo e a área foliar. A matéria seca foi igualmente reduzida pela aplicação do lodo. Ao contrário, o fertilizante teve efeito positivo sobre todas as características morfológicas, atuando como restaurador dos efeitos danosos do lodo. A avaliação dos teores de nutrientes no tecido das plantas de trigo mostrou que a aplicação do fertilizante proporcionou redução nos teores de K, N e Cu. Com a aplicação do lodo de esgoto ao contrário, as plantas de trigo tiveram seus teores de K, N, Cu, Mn, Mg e Zn aumentados. O tecido vegetal não sofreu qualquer alteração em seus teores de P, Ca e Fe. Estes resultados mostram que alguns elementos sofreram efeito de diluição (efeito do fertilizante) ou concentração (efeito do lodo), enquanto outros não foram afetados pela alteração na produção de matéria seca proporcionada pelos tratamentos. O Mn foi o único elemento que teve seu teor reduzido no tecido vegetal, à medida que a dose de lodo aumentou. Também foi o único elemento que apresentou teor foliar inferior ao adequado para o trigo.

ABSTRACT

Aiming at evaluating the sewage alkaline sludge (pH 11.6) complementary to the mineral fertilization, a trial was made in pots, using the 0 - 20 cm layer of a dystrophic Reddish Latosol, medium texture and 6.2 pH (CaCl_2 0.01 M). The study encompassed the wheat culture. The experimental outlining was the factorial 4 x 4, in which a combination was made between 0, 25, 50, 75 and 100% of mineral fertilization officially recommended for the culture and 0; 2.5; 5.0; 7.5 and 10.0 Mg ha^{-1} doses of sludge from the sewage alkaline sludge, on a dry basis. The sludge was made homogeneous with the soil of each pot, 20 days before the wheat seeding, the fertilizer being applied on the same day of the seeding. In each pot 3 plants were kept and morphologically evaluated and after their having been cut, dry matter production and tecidual nourishing contents in the whole plant were determined. The effects of the sludge on the soil were evaluated after 20 and 100 days from its mixture. The data underwent a regression analysis and revealed that, on day 20 from the mixture there was an increase in pH of the soil, which surpassed neutrality of the 7.5 and 10.0 Mg ha^{-1} doses. The saturation by bases (V%), CTC and P, K, Ca, Cu and Zn contents had also increased, whereas Mn and H+Al had their contents reduced. There were no changes in Mg, C and Fe contents. On the day 100 evaluation, only the average values from the sludge treatments, without fertilizers, were considered, the resulting data were compared to those after 20 days. It was found that the sludge residual effect was not significant taking into account the majority of the evaluated parameters. As regards the morphological evaluation of the wheat plants, the sludge had a pernicious effect on their height, stem diameter and leafy area. Dry matter amount was equally reduced due to the sludge application. On the contrary, there was a positive effect from the fertilizer on all the morphological parameters, due to its role of restoration of the damaging effects from the sludge. The evaluation of the tecidual nourishing contents of the wheat plants has demonstrated that the mixture of the fertilizer lead to a reduction in K, N and Cu contents. On the contrary, due to the sewage sludge mixture, the wheat plants had their K, N, Cu, Mn, Mg and Zn contents increased. The vegetal tissue did not experience any change in its P, Ca and Fe contents. These results depict that some elements underwent dilution effect (from the fertilizer) or concentration effect (from the sludge), whereas other ones were not affected by the change in the dry matter production resulting from treatments performed. Mn was the only element to have a content reduction in the vegetal tissue, as the sludge dose increased. It was also the only element to show a leafy content below the proper one determined for the wheat.

1 INTRODUÇÃO

O último censo demográfico mostra que 81,2% da população brasileira vive em áreas urbanas, sendo que no estado do Paraná esse valor é semelhante, com 81,5% (IBGE, 2001). Estes números mostram uma dura realidade, pois os produtores e suas famílias que se encarregavam de produzir alimentos para o próprio consumo e para o de diversas famílias que viviam nas cidades, hoje não produzem mais esses alimentos e ainda são alimentados por um número cada vez menor de pessoas que se dedicam à atividade agrícola. Esse fato leva a crer que as pressões sobre as áreas agrícolas no sentido de aumentar a eficiência das mesmas na produção de alimentos serão cada vez maiores. Isso significa uma intensificação da mecanização e do uso de insumos.

No Paraná, grande parte dos solos sofreram e ainda sofrem um longo processo de degradação, devido ao uso de técnicas de manejo inadequadas. Para se obter maior produtividade, a introdução de energia externa no sistema é aumentada e a relação energia produzida/energia aplicada é cada vez menor. Isso se traduz em uma agricultura cada vez menos auto-sustentável.

Para reverter essa situação faz-se necessário, entre outras medidas, adotar práticas que melhorem progressivamente as características físicas e químicas desses solos a custos relativamente baixos.

Paralelamente às ocorrências no campo, segue-se o dilema das grandes cidades. Segundo ALBRECHT (1995), uma cidade com 1 milhão de habitantes consome diariamente 2.000 Mg de víveres e 625.000 Mg de água e produz 500.000 Mg de água servida. Com esse cenário, tem-se agora, além da preocupação com a alimentação da população, um outro problema que é a destinação correta dos dejetos por ela produzidos. O esgoto doméstico compõe-se tipicamente de 55% de matéria orgânica rapidamente decomponível (esta, em média, composta de 50% de carboidratos, 40% de proteínas e 10% de gorduras), além de 20% de matéria inorgânica e 25% de misturas de materiais orgânicos e inorgânicos – como nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo – distribuídos como sólidos suspensos (sedimentáveis ou não) ou dissolvidos, voláteis (orgânicos) ou fixos (inorgânicos ou minerais), com pH variando entre 6,5 e 8,0 e em solução aquosa a 99,9% (BONNET, 1995). O esgoto constitui-se ainda num grande

reservatório de microorganismos patogênicos que podem colocar em risco a saúde humana, caso não seja adequadamente destinado. A grande parte do esgoto coletado não é tratado e compromete a qualidade do ambiente onde vivem as populações, principalmente pela poluição dos recursos hídricos.

Os fatos até aqui apresentados mostram que há uma certa convergência de ambos os cenários (rural e urbano) a um ponto comum. Aquilo que se configura como um problema para o meio urbano pode ser parte da solução de problemas no meio rural. Fazer retornar ao solo parte do que dele foi extraído, e que circulou nos diferentes níveis tróficos, é uma forma de reciclagem.

O tratamento de esgotos urbanos começou a ser pesquisado e praticado em escala nos Estados Unidos e na Grã Bretanha no final do século passado (DEUS, 1993). O esgoto urbano, quando submetido a tratamento adequado, produz o chamado "lodo de esgoto".

No Paraná, 26,78% da população urbana total dos municípios onde a SANEPAR atua é atendida com a rede de esgoto. Dos 399 municípios do Estado, 118 contam com coleta e tratamento de esgotos, e em 66 deles concentram-se 77,4% da população, estando a produção desse resíduo concentrada na capital e nos grandes pólos do Estado. Estimativas indicam que o potencial produtivo de lodo de esgoto em base seca nos 66 municípios é de 15.782,2 Mg/ano (ANDREOLI et al., 1998).

A disposição agrícola do lodo de esgoto no Brasil é recente, e faz parte de um conjunto de medidas que estão sendo estudadas para garantir a qualidade do meio ambiente e ao mesmo tempo aumentar a produtividade das culturas com menor demanda de energia externa.

Apesar de ser uma fonte de nutrientes e de matéria orgânica, o lodo apresenta riscos potenciais pelo seu conteúdo de metais pesados e patógenos. Os lodos analisados até o presente, no âmbito do programa de pesquisas da Companhia de Saneamento do Paraná - SANEPAR, apresentaram baixos teores de metais pesados quando comparados às normas européias e americanas (SANEPAR, 1997). O lodo contém também uma alta concentração de patógenos, por isso a orientação da SANEPAR é que a disposição do produto para uso agrícola só seja feita após sua prévia desinfecção. Entre os métodos usados para essa

desinfecção, a adição da cal virgem (CaO), é atualmente o método empregado pela ETE-BELÉM. O produto final desinfetado tem pH acima de 11.

Quanto aos metais pesados, a SANEPAR recomenda que a aplicação do lodo seja feita em solos previamente corrigidos, evitando uma possível disponibilização desses para as plantas a serem cultivadas (SANEPAR, 1997).

A consolidação da reciclagem agrícola do lodo de esgoto na realidade brasileira carece de maiores investigações, para que seja feita com segurança e o menor risco possível.

O presente trabalho tem como objetivo estudar o uso do lodo de esgoto alcalino como complemento da adubação mineral. Serão avaliados seus efeitos sobre macro e micronutrientes, matéria orgânica, acidez potencial e reação de um solo previamente corrigido, e os reflexos desses efeitos sobre plantas de trigo (*Triticum aestivum*).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CARACTERIZAÇÃO DO LODO DE ESGOTO

De modo geral, o lançamento do esgoto bruto nos rios provoca degradação ambiental, pela disseminação de doenças e comprometimento da qualidade da água, que pode se tornar imprópria para certos usos. Isso se reflete também em perdas econômicas, uma vez que a degradação da água limita seus usos, reduzindo conseqüentemente as oportunidades de desenvolvimento. Para evitar esses problemas é necessário que o esgoto seja tratado antes do lançamento nos corpos receptores. Esses tratamentos removem a matéria orgânica e demais componentes que constituirão o lodo de esgoto. O estado do Paraná produz basicamente dois tipos de lodo de esgoto: o lodo anaeróbio, proveniente de reatores tipo RALF (Reator Anaeróbio de Lodo Fluidizado), e o lodo aeróbio, resultante do processo de aeração prolongada da ETE-BELÉM (Estação de Tratamento de Esgoto Belém) em Curitiba (SANEPAR, 1997).

O processo de obtenção do lodo de esgoto aeróbio na ETE-BELÉM é ilustrado na Figura 1. De acordo com BONNET (1995), o processo de produção de lodo de esgoto dessa Estação é chamado de Sistema de Lodo Ativado¹, e nele o esgoto, já isento de partículas maiores, é aerado e suprido com O₂ em tanques de aeração prolongada por fluxo orbital (Sistema Carrossel) (figuras 2, 3, 4, 5 e 6). Nesses tanques, as bactérias aeróbicas fazem a degradação de compostos mais complexos da fração orgânica, transformando-os em produtos mais simples.

A grande quantidade de lodo produzida pelos sistemas de tratamento de esgotos pode gerar problemas ambientais e de saúde pública se o resíduo não tiver uma disposição final adequada (FERNANDES et al., 1996).

¹ O lodo ativado é obtido no estágio secundário do tratamento, no qual as células bacterianas se alimentam do material orgânico solúvel e em suspensão, encontrado no esgoto (WHITE et al., 1982).

FIGURA 1 - PLANTA DA ETE-BELÉM



FIGURA 2 - SISTEMA ELEVATÓRIO

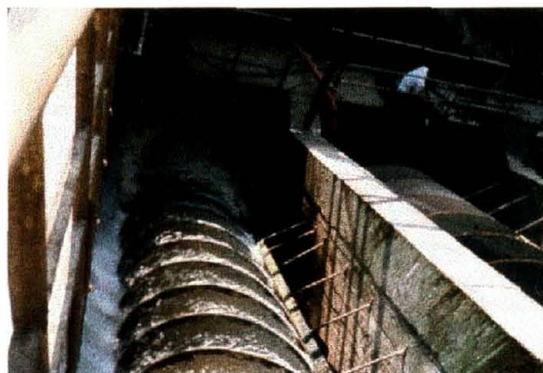


FIGURA 3 - GRADEAMENTO



FIGURA 4 - DESARENADOR



FIGURA 5 - TANQUES DE AERAÇÃO

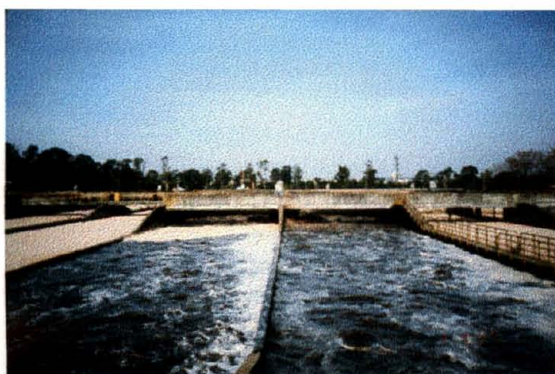
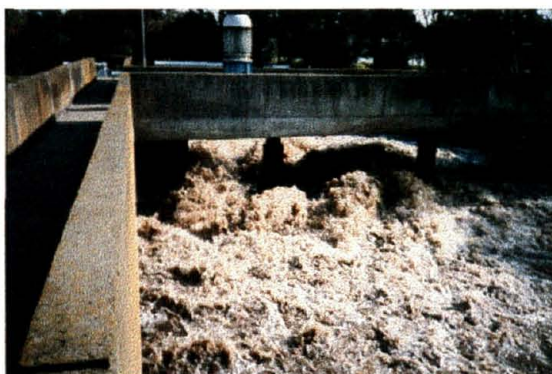


FIGURA 6 - AERADOR



Nos países desenvolvidos, os custos da destinação final dos lodos de esgotos podem chegar a 40% dos custos de operação das estações (VESILIND citado por MARTINS e SANCHES, 1983; BETTIOL, CARVALHO e FRANCO, 1983).

As alternativas de disposição final do lodo de esgoto são: descarga nos rios, lagos e oceanos; aterros sanitários; *landfarming*; incineração; e reciclagem (pirólise, encapsulamento e agrícola) .

A tendência mundial aponta as soluções de reutilização do produto como fator de diminuição de custos a médio e longo prazo e de preservação da qualidade ambiental (BONNET, 1995).

Entre as alternativas de reciclagem, o uso agrícola tem se mostrado bastante promissor. Segundo ANDREOLI et al.(1994), a reciclagem agrícola, dentro de critérios seguros, é uma das possibilidades de menor impacto ambiental e menores custos de implantação e operação, o que a torna ainda mais interessante num Estado onde a agricultura tem grande expressão econômica. Essa é a alternativa de disposição final de menores impactos ambientais negativos e tem sido praticada em muitos países desenvolvidos como solução mais adequada à destinação do produto (BONNET, 1995)

Além de conter matéria orgânica, micro e macronutrientes, os lodos contêm alguns metais pesados (FERNANDES et al., 1993) e vários tipos de microorganismos patogênicos. Para que a reciclagem agrícola seja feita de forma segura, tanto para as pessoas que manipularão o lodo de esgoto bem como para o ambiente e os consumidores dos produtos agrícolas, este deverá ser submetido a processos que visem reduzir a incidência desses organismos patogênicos, que são conhecidos como processos de higienização. Entre os processos existentes, o empregado pela ETE-BELÉM é o da alcalinização, que consiste na adição de cal virgem (CaO) em dose equivalente a 50% do peso seco do lodo. A alcalinização proporciona ainda a estabilização² química do material, a redução do odor e a elevação do pH a valores acima de 12 (SANEPAR, 1997).

² Estabilização é a degradação complementar do lodo em condições controladas, visando a redução de sua putrescibilidade – representada pela concentração de sólidos voláteis e pelo conseqüente potencial odorífero – e de seu volume total. A estabilização do material também minora sensivelmente os teores de patógenos. Os principais processos de estabilização são a digestão anaeróbica e a aeração prolongada em tanques aeróbios de lodos ativados. Há ainda a estabilização química, que inclui a adição de cal ou cloreto férrico ao produto (BONNET, 1995).

Devido à prática da calagem, esse produto tem sido vulgarmente chamado de “lodo de esgoto calado”.³

As características do lodo de esgoto produzido pela ETE-BELÉM estão nas tabelas 1, 2, 3 e 4.

TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO LODO DE ESGOTO PRODUZIDO PELA ETE-BELÉM

AMOSTRA	GRANULOMETRIA (%)			RELAÇÃO SILTE/ ARGILA	DENSIDADE GLOBAL (g.cm ⁻³)	DENSIDADE DAS PARTÍCULAS (g.cm ⁻³)	POROSIDADE TOTAL (%)
	AREIA	SILTE	ARGILA				
I	3,5	82,1	14,0	5,89	0,83	1,69	50,8
II	3,6	81,8	14,6	5,60	0,82	1,70	51,7

FONTE: SANTOS FILHO, A.; TOURINHO, L. C. N. Caracterizações analíticas de lodo e interpretações para fins agrícolas e florestais. Separata de: **Revista Floresta**, Curitiba, v.2, n.1, p. 44-48, 1981.

TABELA 2 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS MÉDIAS DO LODO DE ESGOTO PRODUZIDO PELA ETE-BELÉM (EM % DE PESO SECO)

TIPO DE LODO	pH	N total	P ₂ O ₅ total	P ₂ O ₅ CNA ⁽¹⁾	K ₂ O	Ca	Mg	C total	M.O. ⁽²⁾ total	CINZAS	UMIDADE
..... %											
LODO BRUTO	5,9	4,91	3,7	2,46	0,36	1,59	0,6	32,1	69,4	37,2	6,50
LODO + CAL ⁽³⁾	11,4	2,94	2,2	0,95	0,21	9,08	4,78	20,5	37,6	52,5	1,08

FONTE: SANEPAR. **Manual técnico para utilização agrícola do lodo de esgoto no Paraná**. Curitiba, 1997. 96p.

(1) Citrato Neutro de Amônio.

(2) Matéria orgânica.

(3) Cal a 50% do peso seco do lodo.

³ O termo *calado* é um neologismo que não esclarece a caracterização química do produto, no que se refere a seu pH, nem mesmo ao material usado na calagem. Tendo em vista a importância que essa característica assume ao se fazer uso do produto em áreas agrícolas, sugere-se neste trabalho a denominação “lodo de esgoto alcalinizado”.

TABELA 3 - TEOR DE METAIS PESADOS NO LODO DE ESGOTO

TIPO DE LODO	Cu	Zn	Co	Cr	Ni	Pb	Ba	Cd
	mg.kg ⁻¹							
LODO SEM CAL	401	1.340	14	125	81	268	457	<2,5
LODO COM CAL ⁽¹⁾	265	704	12	91	52	223	436	<2,5

FONTE: MIYAZAWA, M. et.al. Lixiviação de metais pesados do lodo de esgoto no solo. **Sanare**, Curitiba, v. 5, n. 5, 1996. p. 63 - 67.

(1) Cal a 30% do peso seco do lodo.

TABELA 4 - CONCENTRAÇÃO MÉDIA (17 AMOSTRAS) DE PATÓGENOS (POR 100 GRAMAS DE PESO SECO DO LODO) NO LODO BRUTO E NO TRATADO COM CAL NA PROPORÇÃO DE 50% EM RELAÇÃO AO PESO SECO DA ETE-BELÉM (AERÓBIO)

TRATAMENTO	COLIFORME TOTAL	COLIFORME FECAL	SALMONELA: (%) DE PRESENÇA NAS AMOSTRAS	
BRUTO	7,54.10 ⁸	86,4.10 ⁶	17%	
TRATADO COM CAL	3,47.10 ⁴	<200	ausente	
% DE REDUÇÃO	99,5%	100%	100%	
TRATAMENTO	ESTREPTOCOCOS	OVOS DE HELMINTOS	LARVAS DE HELMINTOS	CISTOS DE PROTOZOÁRIOS
BRUTO	36,7.10 ⁶	420	207	2,4
TRATADO COM CAL	<200	40	ausente	ausente
% DE REDUÇÃO	100%	77,33%	100%	100%

FONTE: SANEPAR. **Manual técnico para utilização agrícola do lodo de esgoto no Paraná**. Curitiba, 1997. 96p.

Na Estação, são adicionados 45 mg de poliácrlonitrilo (polímero aglutinante) por litro de lodo úmido para melhorar a consistência do material no final do processo. Em relação à concentração de metais pesados, a Tabela 5 compara o lodo de esgoto gerado na ETE-BELÉM com lodos de outras localidades.

A qualidade do lodo de esgoto está intimamente relacionada ao nível sociocultural do povo, pois em última análise os componentes que o formaram são resultantes dos hábitos alimentares, do saneamento básico, da saúde e ainda do estágio de desenvolvimento industrial de determinado povo (CARVALHO, citado por SILVA, 1995).

TABELA 5 - CONCENTRAÇÃO DE METAIS PESADOS EM LODOS DE ESGOTO DA ETE-BELÉM E OUTRAS LOCALIDADES E LIMITES ESTABELECIDOS POR DIFERENTES LEGISLAÇÕES

ELEMENTOS	ETE-BELÉM ⁽¹⁾	SABESP ⁽²⁾	EUA ⁽³⁾	CANADÁ ⁽³⁾	SUÉCIA ⁽³⁾	LIMITES ADMISSÍVEIS		
						ESPANHA ⁽⁴⁾		EUA ⁽⁵⁾
						pH < 7	pH > 7	
Cd (mg.kg ⁻¹)	< 2,5	8,22	104	38	13	20	40	25
Co (mg.kg ⁻¹)	14	-	9,6	19	15	-	-	-
Cr (mg.kg ⁻¹)	125	744	1.441	1.960	872	1.000	1.500	0
Cu (mg.kg ⁻¹)	401	707	1.346	1.600	791	1.000	1.750	1.000
Ni (mg.kg ⁻¹)	81	593	235	380	121	300	400	200
Zn (mg.kg ⁻¹)	1.340	1.880	2.132	6.140	2.055	2.500	4.000	2.500

(1) MIYAZAWA, M. et.al. Lixiviação de metais pesados do lodo de esgoto no solo. **Sanare**, Curitiba, v. 5, n. 5, 1996. p. 63 - 67.

(2) BETTIOL, W.; CARVALHO, P. C. T.; FRANCO, B. J. D. C. Utilização do lodo de esgoto como fertilizante. **O Solo**, v. 75, n. 1, p. 44-54, 1983.

(3) MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental**: micronutrientes e metais pesados, mitos, mistificação e fatos. São Paulo, ProduQuímica, 1994. 153p.

(4) SANEPAR. **Manual técnico para utilização agrícola do lodo de esgoto no Paraná**. Curitiba, 1997. 96p.

(5) SILVA, F. C. da. **Uso agrônomo do lodo de esgoto**: efeitos em fertilidade do solo e qualidade da cana-de-açúcar. Piracicaba, 1995. 170f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

Quando o lodo de esgoto é proveniente de estações de águas servidas, com predominância de esgotos domésticos sobre os industriais, os níveis de Cd, Cu, Mo, Ni, Zn e Pb, além de Mn, Fe, Al, Cr e Hg, entre outros menos freqüentes, permanece dentro das faixas aceitáveis para o uso agrônomo (GALLOWAY; JACOBS, 1977).

2.2 EFEITOS DO LODO SOBRE O SOLO E AS PLANTAS

Quando se aplica lodo de esgoto ao solo, modifica-se a dinâmica de nutrientes pela mudança na atividade biológica, constituída majoritariamente de bactérias (1 bilhão.g⁻¹ de solo), seguidas dos actinomicetes (aproximadamente 10 milhões.g⁻¹). Os fungos constituem geralmente a maior porção da biomassa, cerca de duas a três vezes as bactérias e os actinomicetes, por causa da dimensão maior de suas hifas, porém, a população de bactérias ocorre em maior número. Esses microorganismos do solo contribuem para a reciclagem e a decomposição do material orgânico (CARDOSO, 1992).

MILLER et al. (1979) resumiram a ação dos microorganismos do solo sobre o lodo de esgoto da seguinte maneira:

- a) decompõem os compostos orgânicos;
- b) atenuam alguns problemas potenciais, como resíduos de detergentes, pesticidas e hidrocarbonetos de petróleo;
- c) participam do ciclo do nitrogênio, do fósforo e do enxofre;
- d) atuam nas reações que influenciam a solubilidade e mobilidade de íons inorgânicos no solo.

A baixa infiltração de água é um sério problema em alguns solos irrigados e pode resultar em mau aproveitamento e ainda aumentar o escoamento superficial e conseqüentemente a erosão. Para reduzir esses problemas, MARTENS e FRANKENBERG (1992) estudaram os efeitos da adição de resíduos orgânicos, entre eles o lodo de esgoto (25 Mg.ha^{-1}), sobre as características físicas e a taxa de infiltração de água no solo. Os resultados mostraram que a incorporação dos resíduos aumentou a estabilidade dos agregados, o C orgânico, o conteúdo de sacarídeos, a taxa de respiração microbiana, a infiltração de água e a umidade do solo, além de ter diminuído a sua densidade, no período de 25 meses do estudo. Resultados semelhantes foram obtidos por vários autores (SABEY, 1974; BETTIOL; CARVALHO; FRANCO, 1983; CARVALHO; BARRAL, 1981).

Além de possuir matéria orgânica, que ajuda a melhorar as propriedades físicas do solo, o lodo contém apreciáveis quantidades de nutrientes, principalmente N e P, podendo ser considerado como uma fonte desses elementos para o desenvolvimento das plantas (SOMMERS; GIORDANO, 1984).

A aplicação de lodo de esgoto promoveu aumento da disponibilidade de N no solo, segundo trabalhos conduzidos por SABEY (1974) e CUNNINGHAM et al. (1975). Esta disponibilidade segundo a SANEPAR (1997), é de 50% para o primeiro ano da aplicação, em climas quentes.

HUE (1992), em casa de vegetação, avaliou o potencial de destoxificação do Al pelo esterco de frango e pelo lodo de esgoto. Foi usado lodo de esgoto na dose de 20 g.Kg^{-1} de solo. Especificação do Al em várias formas mostrou que o solo não tratado tinha concentração de Al^{3+} de $75,3 \text{ } \mu\text{M}$ e atividade de $38,8 \text{ } \mu\text{M}$, enquanto no tratamento com lodo quase todo o Al solúvel estava na forma de Al-tartarato, a concentração de Al^{3+} caiu para $0,09 \text{ } \mu\text{M}$ e sua atividade para $0,03 \text{ } \mu\text{M}$. Verificou-se

que, em comparação ao uso do esterco de frango na mesma dose (20 g.Kg^{-1}), do solo tratado com lodo extraiu-se 55% a mais de P (extraível em NaHCO_3). O autor observa que o teor de P que compõe esses materiais é 1,22% e 1,64% para o lodo e o esterco de frango, respectivamente.

SLOAM e BASTA (1995), em experimento de incubação, usaram três solos com acidez muito alta, nos quais foram adicionados os seguintes tratamentos: calcário (1,4 a $4,1 \text{ g.Kg}^{-1}$ de solo), lodo alcalino estabilizado (7 a $20,1 \text{ g.Kg}^{-1}$ de solo), lodo anaeróbio não alcalinizado (7 a $20,1 \text{ g.Kg}^{-1}$ de solo) e N-viro⁴ (3,1 a $9,1 \text{ g.Kg}^{-1}$ de solo). Os autores constataram que em geral o pH dos solos aumentou linearmente de acordo com o aumento da dose dos produtos aplicados, para os três solos estudados. Os tratamentos promoveram a redução do teor de Mn em solução. Reduziram também o Al solúvel e, com exceção do lodo anaeróbio não alcalinizado, essa redução atingiu níveis inferiores ao limite de detecção ($<0,4 \text{ mol.L}^{-1}$). A especiação mostrou que a atividade do Al^{3+} foi reduzida para níveis não tóxicos ($< 10 \text{ mmol.L}^{-1}$).

BETTIOL, CARVALHO e FRANCO (1983), ao analisarem a produção de matéria seca num experimento em vaso com as culturas de milho (*Zea mays*) e arroz (*Orizae sativa*), verificaram que o lodo de esgoto digerido (pH= 6,03) em dose equivalente a $9,0 \text{ Mg.ha}^{-1}$ em base seca podia ser utilizado como fonte de nutrientes para ambas as culturas, pois não existiu diferença estatisticamente significativa quando comparado com os tratamentos que receberam fertilização mineral recomendada. Apesar dessa ausência de diferença, a produção de matéria seca de raízes de milho no tratamento com $9,0 \text{ Mg.ha}^{-1}$ de lodo de esgoto tendeu a ser superior à adubação mineral. Segundo o autor, isso pode ser explicado pelo efeito da matéria orgânica sobre as propriedades físico-químicas do solo.

BERTON, CAMARGO e VALADARES (1989), trabalhando também em vasos com doses equivalentes a 0, 40 e 80 Mg.ha^{-1} de lodo em base seca, anaerobicamente digerido, aplicadas em cinco diferentes solos paulistas, concluíram que houve aumentos significativos na produção de matéria seca e na absorção de N, P, Ca, Mg e Zn pelas plantas de milho em todos os solos, nas duas doses. Os mesmos autores mostram que em dosagens de até 80 Mg.ha^{-1} de lodo com teor de

⁴Processo patenteado que emprega pó de forno de cimento alcalino, para estabilização e alcalinização do lodo de esgoto.

Zn e Cu considerado elevado (4.111 e $1.455 \mu\text{g.g}^{-1}$), houve um aumento na absorção desses elementos, mas não a ponto de causar redução na produção de matéria seca pelas plantas de milho nos cinco solos estudados. De acordo com os autores, a adição do lodo ao solo proporcionou aumento no pH, no teor de matéria orgânica, nos teores de Ca, Mg e K trocáveis e no teor de P extraível em H_2SO_4 $0,05\text{N}$, além da redução ou eliminação do Al trocável, nos cinco solos estudados, após 15 dias da sua aplicação. Os aumentos do pH do solo no tempo, motivados pela adição da matéria orgânica em geral, foram explicados por GLÓRIA (1992) como decorrentes da liberação de elétrons pela oxidação do carbono, os quais podem ser recebidos pelo O_2 ou H^+ , resultando na neutralização direta da acidez (no caso do H^+) ou indiretamente, através da geração de íons oxigênio que se combinariam com os íons H^+ , formando água.

RAWAJFIH e GHARAIBEH (1990), cultivando trigo (*Triticum durum* L.) por 60 dias em vasos preenchidos com mistura de lodo seco (pH em H_2O = 7,0) e um solo calcário (pH em H_2O = 8,0) nas proporções (lodo:solo) de 1:8, 1:6, 1:4, 1:2, 1:1, 2:1 e 4:1, concluíram que a mistura 1:8 aumentou significativamente o crescimento das plantas de trigo em relação à testemunha com ausência de lodo. A proporção 1:6 também foi superior à testemunha, porém não significativamente pelo teste Duncan a 5% de probabilidade. As demais misturas tiveram efeito supressivo sobre o desenvolvimento do trigo. O mesmo autor mostra que a aplicação do lodo, da proporção 1:8 até a 1:4, causou aumento dos teores foliares de N, P, Fe e Zn, porém reduziu os níveis de K, enquanto os teores de Mn e de Cu não foram afetados. Apesar de não ter havido diferença significativa, o pH do solo apresentou o seguinte comportamento: 8,0; 7,1; 7,3 e 7,5 para os tratamentos testemunha, 1:8, 1:6 e 1:4, respectivamente.

HERNÁNDEZ et al. (1992), num experimento em vaso, cultivando alface (*Lactuca sativa*), aplicaram ao solo lodo de esgoto aeróbio (pH = 6,77) (L), fração orgânica de resíduo sólido urbano fresco (RSU), composto de RSU e composto de L+RSU na proporção de 1:1, nas doses de 60, 120 e 180 Mg.ha^{-1} em base úmida. Os maiores rendimentos de massa fresca da alface foram obtidos com a aplicação do lodo sozinho, em relação à testemunha e aos demais tratamentos, independente da dose utilizada. Os teores foliares de N, P e Zn foram, para todos os tratamentos, significativamente superiores aos da testemunha e proporcionais às doses

aplicadas, à exceção do N para o lodo individualmente, que não apresentou diferenças entre as doses. Os teores foliares de K da testemunha apresentaram poucas diferenças em relação aos demais tratamentos, enquanto os teores de Fe, Mn e Cu não apresentaram nenhuma diferença significativa. Em relação ao pH do solo, somente a maior dose de lodo individualmente (180 Mg.ha^{-1}) proporcionou redução significativa nesse valor, passando de 8,20, na testemunha, para 7,25.

AYUSO et al. (1992) conduziram experimento em vaso, comparando fertilizante mineral (N, P e K) com lodo aeróbio (pH = 7,35) associado a fertilizante mineral (N e K) como substituto do fósforo, na cultura do pimentão (*Capsicum annum*). O tratamento com N e K + lodo proporcionou maior rendimento na produção de frutos e maior absorção de fósforo pelas plantas. Os tratamentos que continham lodo apresentaram também, após o cultivo, teores de fósforo (assimilável residual) no solo estatisticamente superiores àqueles somente com fertilizante mineral. Segundo os autores, houve uma menor insolubilização do P liberado pelo lodo em relação ao fornecido pela adubação inorgânica, o que confirma a progressiva mineralização do P-orgânico do lodo, que atua como um fertilizante de ação gradual. Isso minimiza de certa forma os problemas de insolubilização que esse nutriente tem em solos argilosos.

DA ROS et al. (1993), em experimento a campo, testaram o efeito imediato de cinco doses de lodo de esgoto aeróbio (pH = 7,2) em base úmida: 0, 20, 40, 80 e 160 Mg.ha^{-1} e um tratamento adicional com adubação mineral (20, 100 e 110 Kg.ha^{-1} de N, P e K + 2 coberturas com 90 Kg.ha^{-1} de N) na cultura do milho (*Pennisetum americanum*) e o efeito residual destas sobre o consórcio aveia (*Avena strigosa*) e ervilhaca (*Vicia sativa*). O rendimento de matéria seca da parte aérea do milho aumentou significativamente com a aplicação do lodo de esgoto, nos dois cortes realizados e o rendimento total dessa matéria seca ($1^{\circ} + 2^{\circ}$ cortes) aumentou até a dose máxima de lodo aplicado. A adubação mineral foi equivalente à dose de 120 Mg.ha^{-1} de lodo de esgoto, no que se referiu ao rendimento de matéria seca. Os resultados desse trabalho também mostraram que a quantidade de N, P_2O_5 e K_2O absorvida pela parte aérea do milho aumentou significativamente com as doses de lodo de esgoto. O autor observou que a absorção de K_2O pela parte aérea do milho foi inferior mesmo na dose máxima de lodo, em comparação com a adubação mineral. Em relação ao efeito residual, houve aumentos significativos

tanto na matéria seca da associação aveia-ervilhaca como na produção de grãos de aveia, quando da aplicação do lodo no cultivo anterior. O efeito residual do fertilizante mineral equivaleu à dose de 60 Mg.ha^{-1} de lodo de esgoto. A análise química do solo após o cultivo do milho revelou que apenas os teores de N-total e fósforo foram significativamente alterados com o uso do lodo. À medida que se aumentou a dose do produto, houve um incremento linear no teor desses nutrientes.

MENELIK; RENEAU e MARTENS (1994) conduziram experimento comparando doses, fontes e épocas de aplicação de N na cultura do milho, em plantio direto e convencional, por três safras seguidas (1986, 1987 e 1988). Os autores verificaram que o lodo de esgoto anaeróbico, em dose equivalente ao fornecimento de 150 kg.ha^{-1} de N prontamente disponível, não diferiu estatisticamente do fertilizante mineral tanto em dose única no plantio como em aplicação parcelada (60 kg no plantio e 90 kg seis semanas mais tarde), em relação à produção de grãos de milho. No entanto, o lodo foi estatisticamente superior no que se referiu à produção de silagem (material fresco) e de resíduos culturais (palhada), bem como à absorção de N pelas plantas de milho.

FAVARETTO et al. (1997) conduziram experimento em campo, com a cultura do milho, em um Cambissolo álico de textura argilosa, utilizando 32, 64 e 96 Mg.ha^{-1} de lodo úmido alcalinizado, produzido na ETE-Belém, comparando com a adubação mineral recomendada. Os resultados mostraram não haver diferenças de produtividade entre a adubação mineral e qualquer dose de lodo. O lodo reduziu a acidez potencial do solo, aumentou os teores de P, Ca + Mg e V%, sem afetar o pH e teores de K, C e CTC pH 7,0.

Trabalhos recentes foram conduzidos na Universidade Federal do Paraná, estudando os efeitos do lodo de esgoto alcalinizado, produzido na ETE-Belém, sobre as propriedades químicas dos solos. Entre eles destacam-se o trabalho de incubação em casa de vegetação, conduzido por ABREU (1998), avaliando os efeitos do lodo de esgoto sobre a disponibilidade de micronutrientes em um Latossolo Vermelho Escuro de textura arenosa e um Cambissolo de textura argilosa, ambos da região de Ponta Grossa. Os resultados apontaram um aumento no pH de ambos os solos e a neutralização quase total do Al em solução. Ocorreram também alterações nos teores de Cu, Fe, Mn e Zn de maneira distinta entre os solos.

MEYER (1998), também trabalhando com incubação em um Cambissolo de textura média e um Glei Húmico de textura argilosa, concluiu que o lodo teve efeito corretivo da acidez em ambos os solos, com destaque para o primeiro. Houve ainda redução do Al^{3+} e aumento dos teores de Ca, P e Mg.

Estudo específico, em vaso, sobre a capacidade de correção da acidez do solo foi conduzido por ZAPPI (1999), em três solos de texturas distintas (arenosa média e argilosa). O autor comparou o efeito de doses crescentes de lodo de esgoto anaeróbio alcalinizado (4, 8 e 12 $Mg.ha^{-1}$) com calcário (2, 4, 6 e 8 $Mg.ha^{-1}$). Constatou-se que no solo de textura argilosa as doses de lodo e calcário se equivalem, para atingir um mesmo valor pH. Já nos solos de textura média e arenosa o poder de elevação do pH do lodo é superior ao do calcário, para uma mesma dose aplicada.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido em casa de vegetação nas dependências do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, na cidade de Curitiba, estado do Paraná.

3.2 SOLO

O solo foi coletado em 6/5/97, na camada de 0 a 20 cm da gleba 14B do Campo Demonstrativo e Experimental da Cooperativa Agropecuária Batavo Ltda., situado às margens da Rodovia PR 151, km 121, no município de Ponta Grossa, estado do Paraná, cujas coordenadas geográficas são longitude 50°20' e latitude 25°20'. Está classificado como Latossolo Vermelho distrófico (LVd), segundo EMBRAPA (1999). Essa gleba vem sendo cultivada sob sistema de plantio direto na palha há 8 anos e foi submetida à calagem em superfície em 1994, na dose de 2,0 Mg.ha⁻¹. A última cultura conduzida na área foi o milho para produção de grãos, cuja adubação foi 300 kg.ha⁻¹ da fórmula 10-20-20 no plantio e 150 kg de uréia em cobertura.

Antecedendo a coleta, a área foi previamente amostrada para caracterização química (Tabela 6) e textural do solo.

TABELA 6 - ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO EM AMOSTRAS DE CAMPO NA PROFUNDIDADE DE 0 a 20 cm

pH	Al ³	H + Al	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	CTC	P	C	V	Cu	Fe	Mn	Zn
CaCl ₂	.....	.....	cmolc.dm ⁻³	.....	.....	mg.dm ⁻³	g.dm ⁻³	%	.....	mg.kg ⁻¹	.....	.....	.....
6,2	0,0	3,2	3,2	2,2	0,25	8,9	44,5	10,6	63,8	0,51	15,7	2,9	1,6

A análise granulométrica revelou os seguintes resultados: 78% de areia, 8,5% de silte e 13,5% de argila.

Para coleta das amostras seguiu-se a metodologia proposta pelo IAPAR (1996).

A determinação textural se deu pelo método do densímetro, descrito por KIEHL (1979), sendo classificado como textura média (EMBRAPA, 1979). A caracterização química do solo foi obtida a partir das análises de rotina do Laboratório de Solos do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, conforme metodologia proposta por PAVAN et al. (1992), como se segue: pH determinado em solução de CaCl_2 0,01 M. H+Al pelo método indireto da solução tampão SMP. O Ca e o Mg foram extraídos com KCl 1 N e determinados por complexometria. O P e o K foram extraídos em solução Mehlich-1 e determinados em colorímetro e fotômetro de chama, respectivamente. O C foi determinado por via úmida, usando a solução de dicromato de potássio.

Para a determinação de micronutrientes, baseou-se na metodologia de LINDSAY e NORVELL (1978). Os micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn foram extraídos por complexação com DTPA-TEA e determinados em espectrofotômetro de absorção atômica.

Para avaliar o nível de suficiência dos macros e micronutrientes no solo utilizou-se os intervalos apresentados no Anexo 1.

Determinou-se ainda a densidade aparente do solo, através do método do anel volumétrico (KIEHL, 1979), cujo resultado foi $1,54 \text{ kg.dm}^{-3}$.

3.3 LODO DE ESGOTO

O lodo de esgoto aeróbio estabilizado alcalino utilizado neste trabalho foi produzido pela Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR, em sua Estação de Tratamento de Esgotos Belém, situada no município de Curitiba, estado do Paraná. A umidade do material na ocasião da aplicação ao solo era 77,3%.

A composição química desse lodo de esgoto é dada na Tabela 7. O material foi analisado pelo Instituto de Tecnologia do Paraná - TECPAR.

Para os elementos Cd, Cr, Zn, Cu e Ni, utilizou-se o método de extração em HCl-HNO₃ (3:1) (digestão ácida com água régia) e posterior determinação por espectrofotometria de absorção atômica.

TABELA 7 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO LODO DE ESGOTO (EM BASE SECA) PRODUZIDO PELA ETE-BELÉM

pH.....	11,6
N total.....	30,6 g.kg ⁻¹
P ₂ O ₅ total.....	20,3 g.kg ⁻¹
P ₂ O ₅ (solúvel em CNA).....	14,1 g.kg ⁻¹
K ₂ O (solúvel em H ₂ O).....	2,2 g.kg ⁻¹
Ca.....	126 g.kg ⁻¹
Mg.....	73 g.kg ⁻¹
Cu.....	120 mg.kg ⁻¹
Zn.....	549 mg.kg ⁻¹
Cd.....	8,5 mg.kg ⁻¹
Cr.....	40 mg.kg ⁻¹
Pb.....	43 mg.kg ⁻¹
Hg.....	2,1 mg.kg ⁻¹
Ni.....	50 mg.kg ⁻¹
C orgânico total.....	203 g.kg ⁻¹
MO total.....	365 g.kg ⁻¹
Umidade (110 ± 5°C).....	22,7 g.kg ⁻¹
Cinzas (550 ± 5°C).....	613 g.kg ⁻¹
Relação C/N (C total/N total).....	7/1

O Pb foi extraído pelo mesmo método, porém determinado por espectrofotometria de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado. Extração idêntica foi utilizada para o Ca e o Mg, contudo a determinação foi feita por complexometria. Todas as extrações acima seguiram as metodologias da CETESB (1977). O Hg foi extraído por digestão em sistema fechado (bombas de teflon) com ácido nítrico (HNO₃) 10% (v/v) e peróxido de hidrogênio (H₂O₂) e determinado por

espectrofotometria de absorção atômica. A metodologia foi desenvolvida pelo próprio TECPAR e não está publicada.

Seguindo as metodologias descritas pelo Laboratório Nacional de Referência Vegetal – LANARV (1988), foram realizadas as determinações a seguir. Para o N, empregou-se o método do ácido salicílico, utilizando-se o digestor-destilador tipo Kjeldahl, e sua determinação foi feita por titulação com NaOH. O P total foi obtido pela extração nitroperclórica e determinado pela pesagem do composto $(C_9H_7N)_3H_3[PO_4.12MoO_3]$. Para extrair o P solúvel em CNA+H₂O, utilizou-se solução de citrato de amônio a pH 7,0, e a determinação, foi idêntica à do P total. A extração do K se fez com água destilada, e a determinação através do fotômetro de chama. O pH foi determinado em solução de CaCl₂ 0,01 M. A umidade do material foi determinada por secagem em estufa a 65°C, até obtenção de peso constante. A matéria orgânica total e as cinzas foram determinadas em mufla a 550°C.

3.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial completo 5 x 5, com quatro repetições. Os fatores foram: dose de lodo x percentual da recomendação de adubação mineral para a cultura do trigo.

3.5 TRATAMENTOS E INSTALAÇÃO

O experimento foi conduzido em vasos com capacidade de 9,3 L, e os tratamentos equivaleram a doses de 0; 2,5; 5,0; 7,5 e 10,0 Mg.ha⁻¹ de lodo em base seca. As doses de fertilizante mineral foram 0, 25, 50, 75 e 100% da dose de N, P₂O₅ e K₂O (15; 30; 45 kg.ha⁻¹) recomendada para a cultura do trigo (OCEPAR, 1995), baseando-se nos resultados da análise química do solo.

Tomando como referência a densidade aparente do solo (1,54 g.dm⁻³) e a incorporação do material até 20 cm de profundidade, no campo se teria a adição de 0; 0,811; 1,623; 2,435 e 3,247 g de lodo em base seca para cada kg de solo seco,

ou 0; 3,58; 7,16; 10,74 e 14,32 g de lodo úmido. Essa relação foi estabelecida para aplicar o lodo aos 8,0 kg de solo seco que preencheram os vasos.

O solo foi peneirado (peneira malha 5 mm), homogeneizado e em seguida dividido em quatro porções, em cada uma das quais foram coletadas dez amostras simples para formar uma composta (figuras 7 e 8). Obteve-se assim quatro amostras, cuja média foi a base para a recomendação da adubação do trigo.

FIGURA 7 - PENEIRAMENTO



FIGURA 8 - HOMOGENEIZAÇÃO



A mistura solo-lodo foi realizada em homogeneizador elétrico, de modo que ao solo de cada vaso adicionou-se gradualmente a respectiva dose de lodo, diluída em água desionizada, durante o funcionamento do equipamento (Figura 9). Esta diluição visou proporcionar melhor uniformidade na mistura, pois a consistência pastosa do lodo poderia comprometer a uniformidade da aplicação (Figura 10). A

FIGURA 9 - ADIÇÃO DO LODO DILUÍDO AO SOLO



FIGURA 10 - ASPECTO FÍSICO DO LODO ÚMIDO



quantidade de água usada na diluição de cada dose foi ajustada, para que ao final todos os vasos tivessem a mesma umidade.

Após o preenchimento, os vasos foram mantidos em umidade próxima à capacidade de campo, na casa de vegetação, durante 20 dias, até o plantio do trigo.

A aplicação do fertilizante foi feita de maneira uniforme no fundo do sulco aberto ao longo do diâmetro do vaso, a 8 cm de profundidade, sendo o sulco coberto em seguida (Figura 11).

Na adubação de semeadura foram utilizadas como fonte de nutrientes o fertilizante em mistura microgranulada de fórmula 4-14-8, complementado com KCl e $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ para atingir a quantidade de nutrientes requisitada pela recomendação. Devido à dificuldade em distribuir baixo volume de fertilizante nos vasos, adicionou-se sílica moída aos mesmos. Buscando uniformidade na mistura e distribuição das fontes, o KCl e o $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ foram fragmentados em moinho e, tal como o microgranulado e a sílica, passados por duas peneiras: a primeira com malha de 1,0 mm e a segunda de 0,5 mm. Somente a fração retida na segunda peneira foi utilizada (Figura 12).

FIGURA 11 - APLICAÇÃO DO FERTILIZANTE NO SULCO



FIGURA 12 - GRANULOMETRIA DA SÍLICA E DAS FONTES



No dia 12 de junho de 1997, ao longo do sulco já encoberto, foram abertos 10 orifícios equidistantes, com profundidade de 3 cm (Figura 13), nos quais depositaram-se as sementes, já tratadas com fungicida *triadimenol*, a 40 g.100 kg⁻¹ de sementes (Figura 14). O cultivar de trigo semeado foi o BR 35, cujo ciclo e porte são intermediários. Apenas as três plantas mais vigorosas foram conduzidas até o

estádio 10.1 da escala FEEKS (MOBAY CHEMICAL CORPORATION, 199?) . As demais foram eliminadas em dois desbastes efetuados nos estádios 1 e 2.

FIGURA 13 - ABERTURA DOS ORIFÍCIOS DE SEMEADURA



FIGURA 14 - DETALHE DA SEMEADURA DO TRIGO

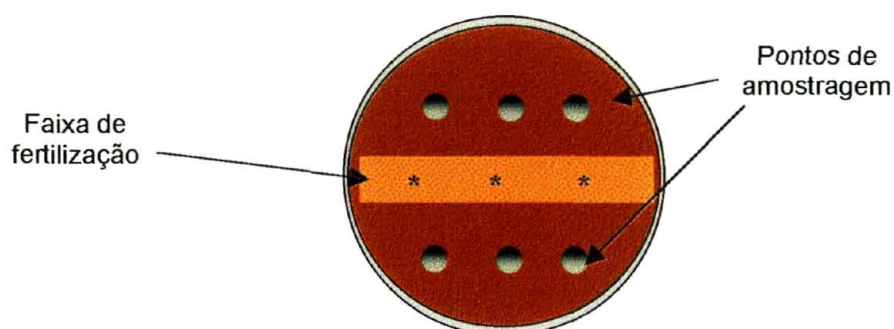


3.6 AVALIAÇÕES

3.6.1 Amostragem e Análise Química do Solo

Coletou-se solo em duas épocas: a primeira, 20 dias após a aplicação do lodo (imediatamente antes da semeadura do trigo), utilizando trado calador, em seis pontos aleatórios ao longo de toda a profundidade do vaso; a segunda, logo após o corte do trigo (100 dias após a aplicação do lodo), usando-se o mesmo procedimento anterior, porém em pontos laterais e ao longo do sulco de adubação (Figura 15).

FIGURA 15 - PONTOS DE AMOSTRAGEM DE SOLO APÓS O CORTE DO TRIGO



As análises químicas de rotina basearam-se na metodologia proposta pela EMBRAPA (1979), e a dos micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn), em LINDSAY e NORWEL (1978).

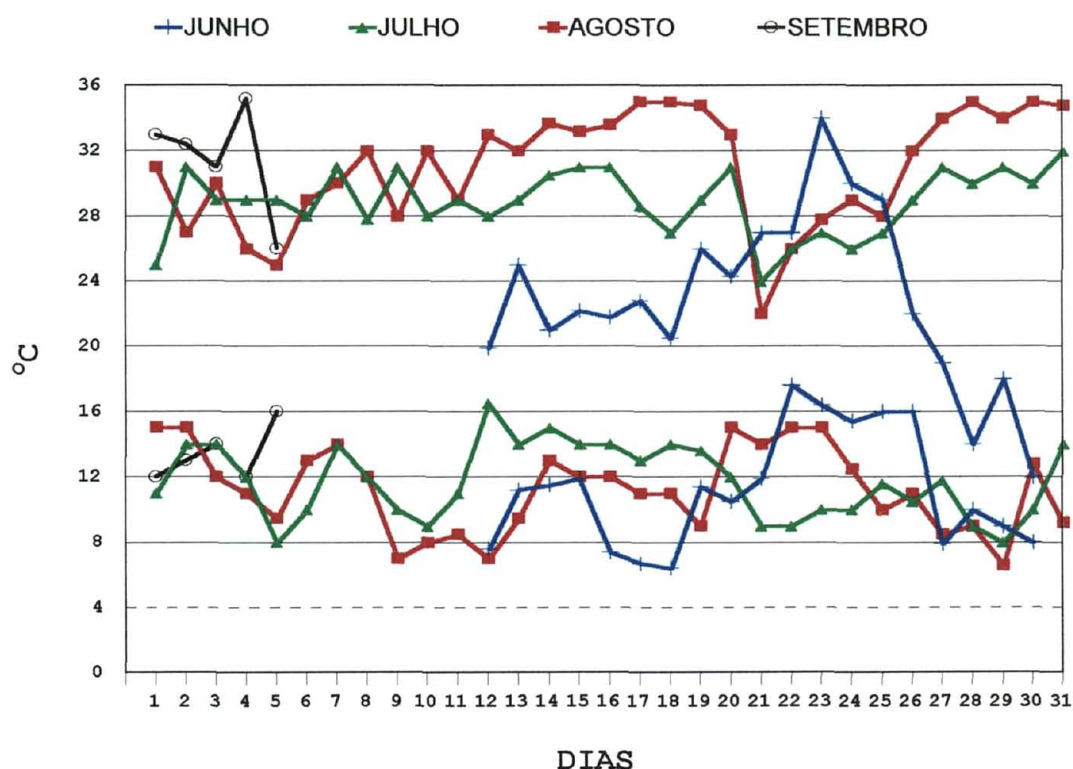
3.6.2 Amostragem e Análise das Plantas

No estágio fenológico 10.1 da escala de FEEKS-LARGE, foram avaliadas as seguintes características morfológicas:

- a) área foliar: expressa em $\text{cm}^2.\text{planta}^{-1}$, utilizando o medidor digital;
- b) diâmetro do colmo: expresso em mm, resultado da média das três plantas do vaso, medido a 4 cm do nível do solo;
- c) estatura: expressa em cm, resultado da média das três plantas do vaso, medida do nível do solo até a junção da bainha com o limbo da folha bandeira, utilizando-se escalímetro;
- d) perfilhos/planta: essa avaliação foi suspensa por não ter ocorrido; a explicação para tal fato reside nas temperaturas elevadas ocorridas na casa de vegetação (Figura 16), que por sua vez teriam inibido o perfilhamento, tendo em vista que a temperatura considerada adequada para o perfilhamento está entre 15 e 20°C (MOTA, 1982); as temperaturas médias das máximas e mínimas no período foram: 11,2/22,9; 11,6/26,6; 10,4/27,8 e 13,4/31,5 para os meses de junho (após dia 12), julho, agosto e setembro (até dia 5), respectivamente.

No mesmo estágio, as plantas foram cortadas ao nível do solo e colocadas para secagem em estufa de ventilação forçada a 65°C, até a obtenção de peso constante. Após a moagem das plantas secas, determinou-se a produção de matéria seca/vaso, pesando-se em balança analítica. O teor de nutrientes no tecido vegetal foi determinado usando-se a metodologia descrita pela PERKIN ELMER (1973), pela qual a extração de P, Ca, Mg, K, Cu, Fe, Mn e Zn se deu através de duas incinerações: a primeira a seco e a segunda acrescida de 5 gotas de HCl 10%.

FIGURA 16 - TEMPERATURAS MÍNIMAS E MÁXIMAS OCORRIDAS NA CASA DE VEGETAÇÃO DESDE A SEMEADURA (12/6/97) ATÉ O CORTE (5/9/97) DAS PLANTAS DE TRIGO



As determinações dos elementos Ca e Mg e de micronutrientes foram feitas por espectrofotometria de absorção atômica. O P obteve-se por meio de colorimetria com molibdato-vanadato de amônio em espectro de 463 nm, com colorímetro Zeiss, PL-4. O K foi determinado por fotometria de emissão em comprimento de onda de 766,5 nm. As análises do elemento B foram realizadas segundo BASSON (1969), pelo método de boro azomethine-H com digestão por HCl a 1N e leitura em colorímetro Zeiss, PL-4 em espectro de 405 nm.

A determinação do N foi feita por digestão sulfúrica seguida de dosagem pelo método do semi-micro Kjeldahl (SARRUGE; HAAG, 1974).

3.7 ANÁLISE DOS DADOS

Na primeira avaliação do solo, sobre a variável lodo, os dados foram submetidos à análise de regressão, para se testar a significância dos modelos linear

($y = a + bx$) e quadrático ($y = a + bx + cx^2$). Os modelos foram plotados com seus respectivos intervalos de predição (CHARNET et al., 1999). Para as demais avaliações de solo e planta, foram feitas regressões, usando-se as duas variáveis independentes ou co-variadas (lodo e fertilizante) e uma variável dependente para produzir a superfície de resposta, dada pela equação:

$$z = \beta_0 + \beta_{f1} \cdot \text{fert} + \beta_{l1} \cdot \text{lodo} + \beta_{f2} \cdot \text{fert}^2 + \beta_{l2} \cdot \text{lodo}^2 + \beta_{fl} \cdot \text{fert} \cdot \text{lodo}$$

O nível de significância usado nas análises foi de 5%.

As co-variadas foram submetidas à transformação canônica (MONTGOMERY, 1997) para uniformizar seus respectivos valores nos eixos dos gráficos de superfície de resposta. Isso se faz devido às diferentes amplitudes das escalas (lodo = 0 a 10 e fertilizantes = 0 a 100), que podem produzir distorções na avaliação gráfica das superfícies. Para executar a transformação, basta tomar o valor central de cada escala, que será o subtraendo de qualquer valor da mesma, e ao mesmo tempo o divisor do resultado da subtração, como mostra as equações abaixo:

$$\text{lodo} = (\text{LODO} - 5)/5$$

$$\text{fert} = (\text{FERTILIZANTE} - 50)/50$$

Para ambas co-variadas o resultado final foi: -1,0; -0,5; 0; 0,5 e 1. Devido a essas transformações, todas as equações que acompanham os modelos deverão ter os valores de x ou y (no caso das superfícies de resposta) substituídos pelos valores transformados (-1 a 1) caso se queira calcular um valor z qualquer. Em todos os modelos de superfície de resposta, são apresentados seus respectivos coeficientes de determinação (r^2), porém o grau de significância (*) somente o acompanha quando for igual para ambas as variáveis (lodo e fertilizante). Nos casos em que o nível de significância é distinto entre as variáveis, o mesmo poderá ser consultado nas tabelas de análise de variância dos anexos.

A avaliação da correlação entre duas variáveis dependentes sob efeito simultâneo do fertilizante e lodo foi feita empregando-se a análise de variância de resposta múltipla – MANOVA, conforme o modelo abaixo:

$$(y_1, y_2) = (\beta_0^{MS} + \beta_f^{MS} \cdot \text{fert} + \beta_l^{MS} \cdot \text{lodo}, \beta_0^N + \beta_f^N \cdot \text{fert} + \beta_l^N \cdot \text{lodo})$$

O teste de significância da MANOVA foi o Λ de Wilk (MONTGOMERY, 1997).

Nesse modelo as variáveis dependentes em interseção no plano produzem um vetor de resposta. O ajuste do modelo leva em consideração a correlação entre as variáveis resposta.

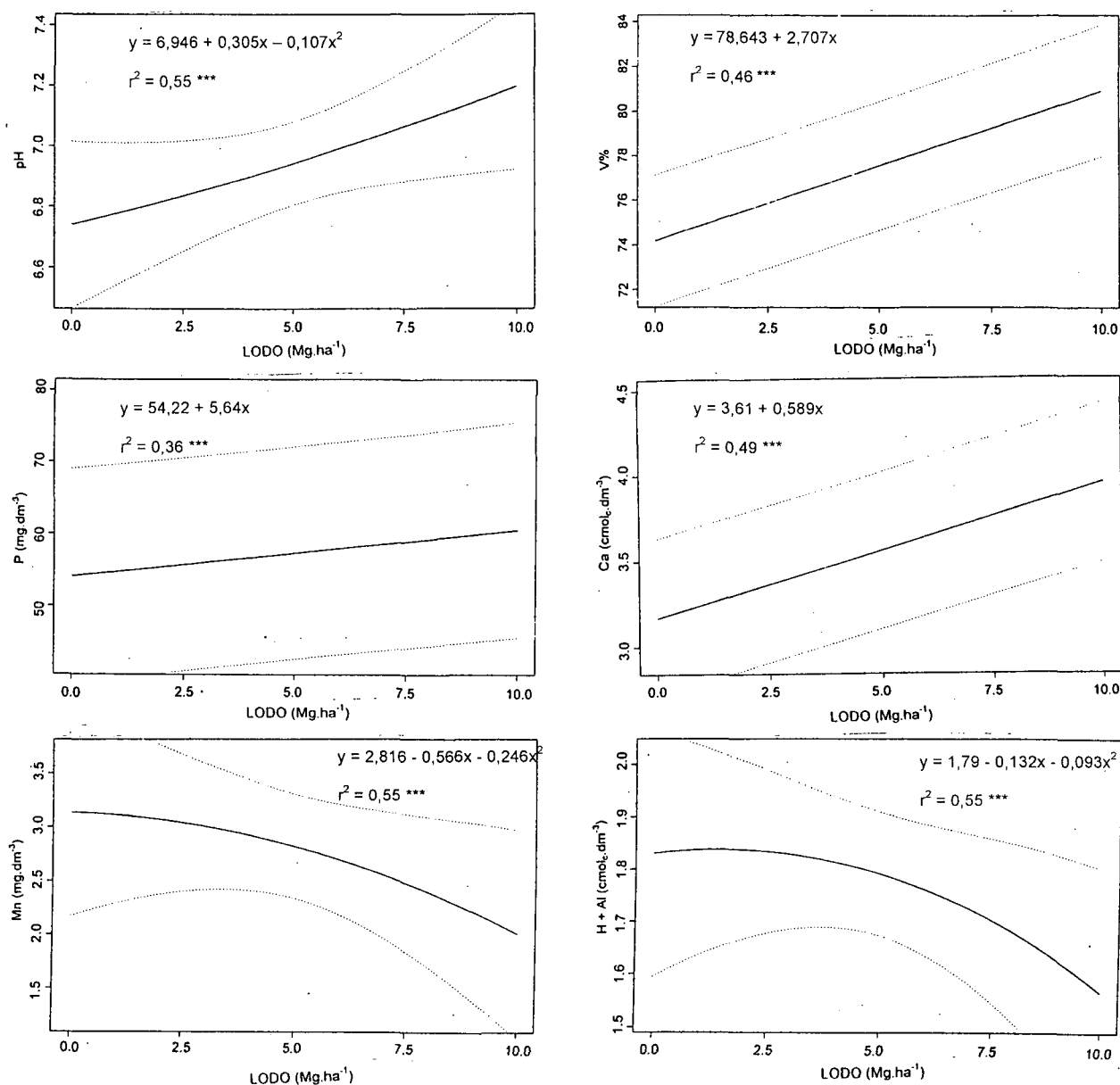
Para avaliar os efeitos do lodo no solo ao longo do tempo, empregou-se o teste T pareado (MONTGOMERY, 1997) para efetuar a comparação de médias dos resultados de 20 e 100 dias após a aplicação do lodo. Esse teste permite eliminar o efeito de variâncias entre vasos. Nos dados da segunda amostragem, foram avaliados apenas os tratamentos com lodo sem a adição de fertilizantes.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 O LODO E A FERTILIDADE DO SOLO

A caracterização química do solo foi efetuada 20 dias após a aplicação do lodo. A análise de regressão dos resultados mostraram efeitos significativos (0,01% no teste F (***)) desse material na elevação dos valores pH, V% e teores de P e Ca, enquanto sobre as variáveis Mn e H+Al houve redução nos teores (Figura 17).

FIGURA 17 - EFEITO DO LODO DE ESGOTO SOBRE O pH, V%, P, Ca, Mn e H+Al DO SOLO, APÓS 20 DIAS DA APLICAÇÃO



A CTC e os teores de K, Cu e Zn também sofreram elevações significativas, devido à aplicação do lodo, porém os coeficientes de determinação das regressões (r^2) foram baixos (Tabela 8).

TABELA 8 - COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO (r^2) PARA A CTC E OS TEORES DE K, Cu e Zn NO SOLO

VARIÁVEL	r^2
CTC	0,142 ***
K	0,088 **
Cu	0,095 *
Zn	0,199 **

* significativo a 5%, ** a 1% e *** a 0,1% no teste F.

Os teores de Mg, C e Fe não foram afetados significativamente pela aplicação do lodo.

A elevação do pH do solo, em função da aplicação do lodo, também foi observada por BERTON; CAMARGO e VALADARES (1989), BROWN e BRUSH (1992), SLOAN e BASTA (1995) e ZAPPI (1999).

Por ser o lodo usado neste experimento um material altamente alcalino e de reatividade elevada, o aumento do pH ocorreu em curto intervalo de tempo, mesmo sendo o solo de acidez baixa. Nos trabalhos conduzidos por MEYER (1998) e ABREU (1998), nos quais esses autores definiram a curva do pH do solo ao longo do tempo, após a adição de lodo alcalinizado, verificou-se que o efeito corretivo é praticamente imediato, atingindo com freqüência os valores máximos de pH após um dia da aplicação.

O Ca é o nutriente que se encontra em maior quantidade no lodo (Tabela 2), sendo sua concentração aproximadamente o dobro do Mg, que é o segundo nutriente mais abundante no material. Portanto, a elevação de seus teores no solo está condizente com as doses crescentes aplicadas. Resultado semelhante foi obtido por SILVA (1995) e MEYER (1998) ao aplicarem doses crescentes de lodo de esgoto alcalino, contendo 11,5% e 12,6% de Ca, respectivamente.

A acidez potencial (H+Al) foi reduzida em consequência da elevação do pH, liberando cargas negativas do complexo de troca, as quais teriam sido ocupadas

preferencialmente pelo Ca, justificadas pela elevação significativa de seus teores na análise química do solo.

O aumento do pH e do teor de Ca e a redução do H+Al refletiram no aumento da saturação por bases (V%). Esse resultado indica a relação direta entre pH e V% (RAIJ, 1991), além do evidente aumento da participação do cátion básico Ca no complexo de troca.

O P é um dos elementos mais limitantes da produtividade agrícola nos solos tropicais. Apesar da baixa concentração desse elemento no lodo quando comparado com outros resíduos orgânicos, as elevadas doses desse material normalmente empregadas o tornam atraente para a melhoria da fertilidade do solo. FOLLE et al. (1995) concluíram que a aplicação do lodo aumentou o teor de Al-P, Fe-P, Ca-P e P solúvel no solo. O lodo usado neste trabalho continha $8,9\text{g kg}^{-1}$ de P total, dos quais 55% solúveis em CNA. A adição do lodo propiciou a elevação do teor de P no solo, extraível em Mehlich 1. Considerando-se a concentração desse elemento no biossólido⁵, os teores obtidos na análise de solo ficaram aquém daqueles potencialmente possíveis. Tal fato pode ser justificado pelos elevados valores de pH do solo. Sabe-se que nessas condições há predomínio de Ca-P (BRADY, 1989). Sabe-se também que o extrator Mehlich 1 extrai mais Ca-P (NOVAIS; SMYTH, 1999), esperando-se maiores teores desse elemento nas determinações. Entretanto, o elevado pH do solo tende a alterar rapidamente o pH inicial do referido extrator, que é 1,2, elevando-o para valores de pH próximo ao do solo, o que reduz sua capacidade de extração (NOVAIS; SMYTH, 1999).

Apesar dos valores elevados de pH, essa intensa homogeneização pode também ter favorecido a adsorção do P a oxidróxidos de Fe e Al, produzindo assim compostos de baixa solubilidade. Segundo BRADY (1989), mesmo com pH 6,5 é provável que grande quantidade de P ainda se encontre quimicamente combinada com Fe e Al. Esse mesmo autor afirma que, à medida que o pH se aproxima de 6,0, inicia-se a precipitação de P sob as formas de compostos de Ca, que se tornam cada vez mais insolúveis com pH acima de 7,0 pela formação de compostos como apatita, por exemplo.

⁵ Terminologia que denomina o lodo de esgoto, e segundo INGLESE (1998) tem a seguinte definição: Lodo proveniente de um tratamento de desagües primário ou secundário, que tenha recebido algum tipo de estabilização biológica.

O C orgânico total (20,3%), presente no lodo, não aumentou significativamente o teor de C do solo. O mesmo resultado foi obtido por FAVARETTO et al. (1997), aplicando até $9,6 \text{ Mg.ha}^{-1}$ de lodo de esgoto (em base seca), proveniente da ETE-BELÉM, e com composição química semelhante ao usado neste trabalho. MELO et al. (1994) obtiveram aumento significativo tanto do C orgânico como da CTC do solo somente quando aplicaram doses de $32,0 \text{ Mg.ha}^{-1}$ de lodo em base seca.

Mesmo considerando-se a máxima dose de lodo aplicada, no presente trabalho, a alteração do teor de C esperada no solo seria mínima. Basta para isso verificar-se os seguintes cálculos:

$$10.000 \text{ kg de lodo} \times 20,3\% \text{ de C} \Rightarrow 2.030 \text{ kg de C}$$

$$2.030 \text{ kg de C em } 3.080.000 \text{ kg de solo (1 ha)} \Rightarrow 0,6 \text{ g.dm}^{-3} \text{ de C}$$

Essa seria a elevação máxima possível, que representaria apenas 5% de acréscimo no teor original do solo ($10,6 \text{ g.dm}^{-3}$).

Mesmo não havendo aumento significativo no teor de C orgânico no solo, o lodo promoveu o aumento significativo da CTC a pH 7,0. Isso pode estar relacionado à característica dos ácidos húmicos que compõe sua fração orgânica. DEIANA et al. (1990) afirma que os ácidos húmicos do lodo têm baixo conteúdo de carbono, assemelhando-se com os marinhos e lacustres, que, segundo PANKOW (1991), possuem acidez total de 200 a $1.000 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$. As substâncias húmicas do lodo são formadas predominantemente por estruturas alifáticas (HERNÁNDEZ et al., 1990). Essas estruturas possuem menor peso molecular que as estruturas aromáticas e, de acordo com RASHID e KING (1970) e RASHID (1971), citados por PANKOW (1991), as estruturas com menor peso molecular possuem maior conteúdo de grupos funcionais, conferindo maior reatividade e capacidade de complexação de metais.

O K (solúvel em H_2O) encontra-se em baixa concentração no lodo ($0,22 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$) em comparação a outros macronutrientes. A quantidade adicionada ao solo mesmo na maior dose aplicada (22 kg ha^{-1} de K) também é pequena, e representaria uma elevação de $0,03 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ ao teor inicial do solo. O aumento no teor de K foi significativo, porém pequeno. Resultado semelhante foi obtido por BERTON;

CAMARGO e VALADARES (1989), aplicando-se 40 e 80 Mg.ha⁻¹ de lodo de esgoto seco, com concentração de K idêntica à utilizada neste trabalho.

O Zn e o Cu, extraídos com água régia (extração total) são os dois microelementos mais abundantes no lodo de esgoto. Entretanto, devido ao elevado pH do material (11,6), o teor dos elementos realmente disponível deve ser bem menor. PERALTA et al. (1981) afirmam que, acima de pH 6, provavelmente há precipitação do Zn como Zn(OH)₂. A valores de pH (em água) maiores que 7, vários precipitados de Cu do tipo sulfato, carbonato, hidróxido e fosfato podem aparecer (KRAUSKOPF, 1972).

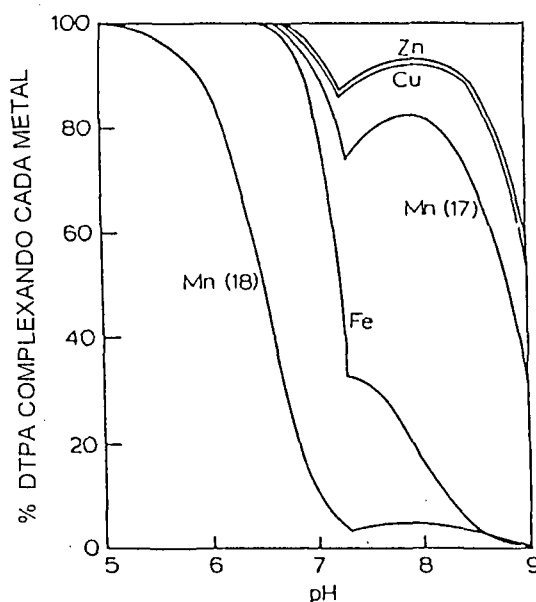
Além do fator pH, o elevado teor de matéria orgânica contida no lodo (36,5%) possivelmente forma complexos muito estáveis e pouco solúveis com o Cu, devido à alta afinidade deste íon metálico com componentes da mesma. De acordo com KAMPRATH e FOY (1971), a elevação do pH do solo aumenta a ligação do Cu com os grupos fenólicos e carboxílicos da matéria orgânica. Essa formação de complexos estáveis entre cátions metálicos e matéria orgânica do lodo ou solo tem grande importância na determinação da mobilidade e disponibilidade desses elementos.

Após a incorporação do lodo ao solo, o pH do sistema solo/lodo caiu drasticamente em relação ao pH do biossólido, porém ainda é considerado elevado para condições de cultivo, podendo reduzir a disponibilidade do Cu e do Zn no solo. As determinações efetuadas após a extração com DTPA-TEA mostraram somente um pequeno aumento nos teores desses elementos, nas parcelas tratadas, evidenciando a ocorrência de grande quantidade de compostos ainda indisponíveis, se forem consideradas as quantidades de Cu e Zn totais adicionadas nas diversas doses aplicadas.

No presente trabalho, o teor de Mn no lodo não foi determinado, entretanto PIGOZZO et al. (1998), caracterizaram o lodo da ETE-BELÉM para aplicação em trabalho de reciclagem agrícola. O valor encontrado para o Mn foi 225 mg.kg⁻¹. Observa-se na Figura 17 que o Mn foi o único cátion metálico que teve o teor significativamente reduzido com a aplicação do lodo. Esse comportamento deve

estar relacionado à grande sensibilidade desse elemento relativa à elevação do pH, quando comparado ao Cu, ao Zn e ao Fe. O Mn se precipita a valores pH inferiores àqueles dos demais micronutrientes metálicos essenciais. Esse fenômeno pode ser observado no diagrama extraído do trabalho de LINDSAY e NORVELL (1978), que propõe o DTPA como extrator de Cu, Fe, Mn e Zn em solos calcáreos (Figura 18).

FIGURA 18 – NÍVEL DE EQUILÍBRIO DE Mn, Fe, Zn e Cu, EXTRAÍDO POR DTPA EM COMPETIÇÃO COM Ca^{2+} e Mg^{2+} . OS NÚMEROS ENTRE PARÊNTESES SE REFEREM AO POTENCIAL REDOX EXPRESSO COMO $\text{pE} + \text{pH}$.



FONTE: LINDSAY, W. L.; NORVELL, W. A. **Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and cooper.** Soil Science Society of America Journal, Madison, 42: 421-8, 1978.

NOTA: Traduzido por Wagner A. Chueiri, 2001

Observa-se que o Mn foi o elemento menos complexado pelo extrator quando o $\text{pE}^6 + \text{pH} = 18$. Por exemplo, a pH 7,0, somente 10% do DTPA está complexando o Mn (18), enquanto 83, 94 e 96% do extrator complexam o Fe, Cu e Zn, respectivamente. Isso indica que, a um mesmo pH, o Mn forma compostos de menor solubilidade, mantendo menor nível do elemento em solução em relação à fase sólida, em comparação ao Fe, ao Cu e ao Zn. Essa situação se altera, quando

⁶ pE é o valor de potencial redox do meio, que, combinado ao pH, determinará a concentração do íon Mn^{2+} na solução do solo. Valores de pE menores que +2 caracterizam solo anóxico; de +2 a +7, solo subóxico; acima de +7, solo óxidos (SPOSITO, 1989). Quanto menor o pE , maior a concentração de Mn^{2+} na solução do solo.

o pE + pH diminui para 17, o que aumenta o Mn em solução, revelando-se a grande sensibilidade do elemento às condições de pE. A pH 8,0, por exemplo, somente pela redução de uma unidade do pE, o percentual do extrator ocupado pelo Mn^{2+} saltou de 5,4 para 83%, mas mesmo assim ainda ficou abaixo do equilíbrio atingido pelo Cu e pelo Zn.

Toda discussão até aqui analisou as alterações nos teores dos nutrientes e na reação do solo, proporcionadas pela adição do lodo. No entanto, não se deve esquecer dos níveis de suficiência desses nutrientes no solo (Anexo 6). Considerando-se esse fator e verificando-se a análise inicial do solo (Figura 1), percebe-se que a aplicação do lodo não alterou o nível de nenhum dos nutrientes, exceto o Ca, que, de um nível médio, passou para alto, nas maiores doses aplicadas, e o pH atingiu a neutralidade. Entretanto, sabe-se que o Mn é suscetível a alterações em seus teores durante o processo de secagem do solo ao ar (TFSA - Terra Fina Seca ao Ar) ou seco em estufa. BORKERT (1991 p.185) afirma que:

...este processo aumenta significativamente os teores de Mn, independente do extrator utilizado. O processo parece estar ligado a oxidação – redução (redox) que ocorre no solo ao receber o tratamento de preparo, com a matéria orgânica sofrendo processo de oxidação; neste caso algum outro composto necessita ser reduzido. Estes compostos podem ser as formas oxidadas de Mn, que são reduzidas e, portanto, liberam Mn^{2+} solúvel.

PAVAN e MIYAZAWA (1984), concluíram que em um solo seco em TFSA ou seco em estufa, os resultados referentes ao manganês trocável são imprevisíveis, dependendo, principalmente, do tempo entre a secagem e a extração, do pH, da matéria orgânica e textura do solo, fatores estes que podem causar erros na interpretação dos resultados de análise deste elemento para fins de fertilidade. Na prática podemos ter um solo com teor adequado de Mn, porém, plantas deficientes do elemento. Estas questões são aqui mencionadas devido aos valores obtidos para o Mn nas análises do solo, cujo os resultados o enquadram no nível de suficiência médio, sendo que nas maiores doses de lodo os valores estão próximos ao nível de suficiência baixo, conforme pode se observar no anexo 6.

4.2 LODO E FERTILIZANTE: RESPOSTAS DAS PLANTAS DE TRIGO

Resultados das avaliações de área foliar, diâmetro do colmo, estatura de planta e produção de matéria seca foram submetidos à análise de regressão, utilizando-se as duas variáveis independentes (lodo e fertilizante) e obtendo-se a superfície de resposta. Os resultados foram altamente significativos, tendo o lodo efeito negativo sobre esses parâmetros, enquanto o fertilizante teve efeito benéfico, sem haver interação entre ambos (figuras 19, 20 e 21).

FIGURA 19 - EFEITO NEGATIVO DO LODO SOBRE O TRIGO

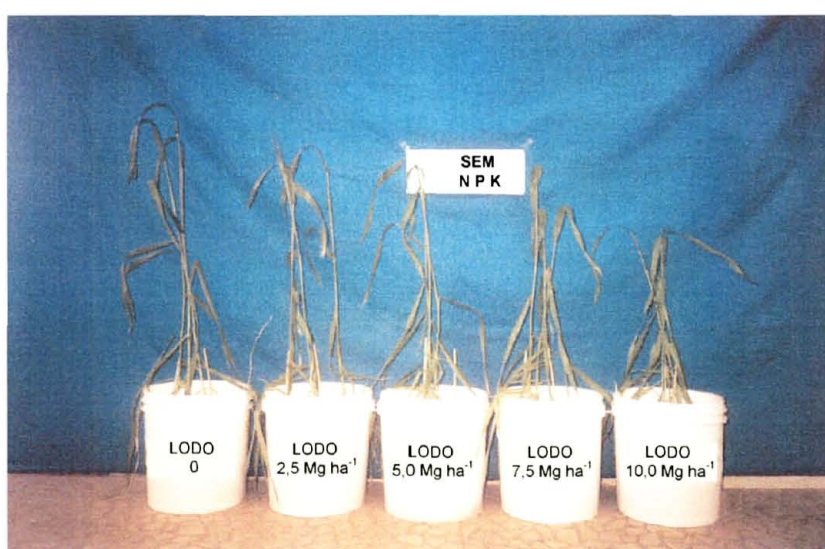
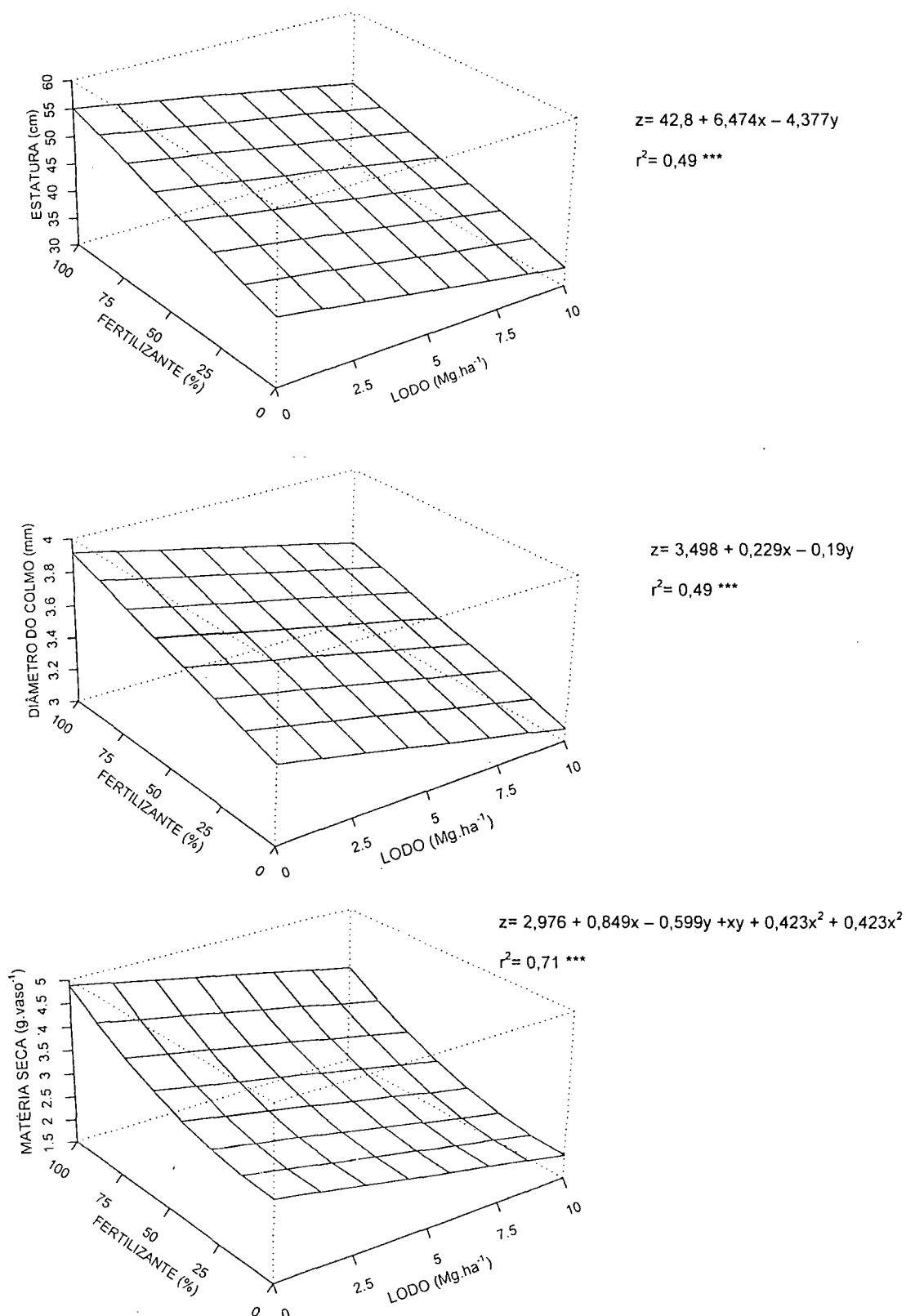


FIGURA 20 - EFEITO POSITIVO DO FERTILIZANTE SOBRE O TRIGO



FIGURA 21 - EFEITOS DO LODO E DO FERTILIZANTE SOBRE CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS E A PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DO TRIGO



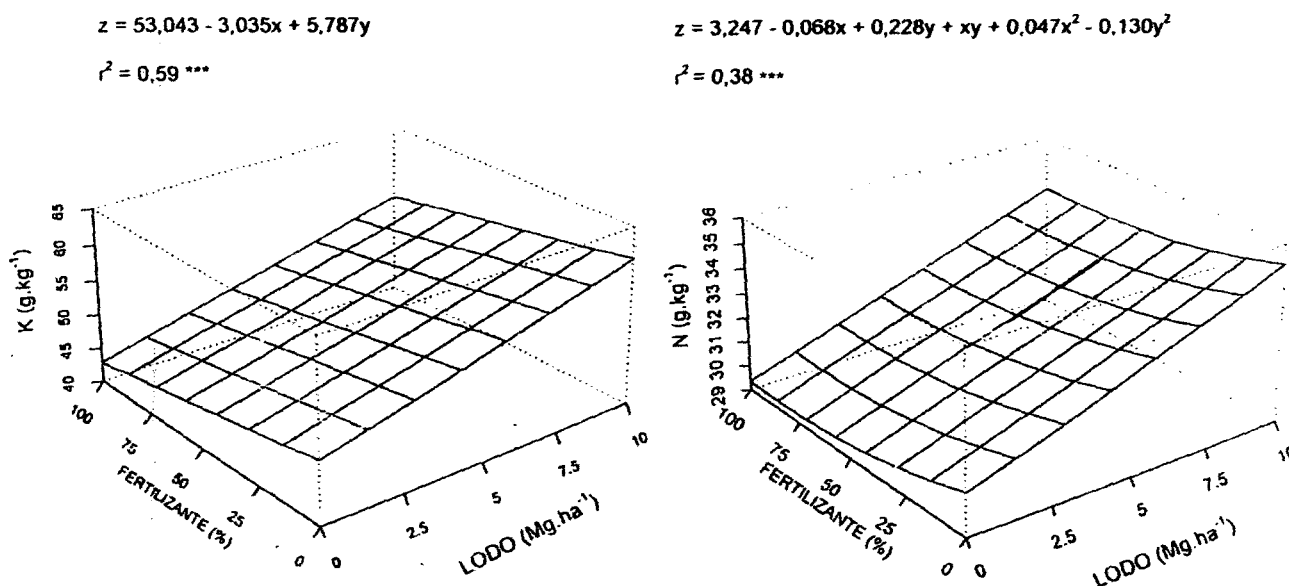
*** Significativo a 0,1% no teste F.

Apesar da alta significância (0,1%), para a variável área foliar (anexo 8) o modelo não representa de maneira ideal o comportamento da mesma em função das co-variadas, devido ao baixo coeficiente de determinação: $r^2 = 0,29$.

Observa-se na Figura 19, que o comportamento das superfícies é semelhante, e que os efeitos sobre a morfologia das plantas foram equivalentes, o que reflete da mesma forma na produção de matéria seca.

Análises idênticas foram aplicadas sobre os dados de teores de nutrientes no tecido vegetal. Os teores de K, N, Mg e Cu foram significativamente reduzidos pela aplicação do fertilizante e aumentados pela aplicação do lodo (Figura 22), tendo a regressão dos dois últimos elementos apresentado baixo coeficiente de determinação: $r^2 = 0,19$ e $0,14^*$, respectivamente.

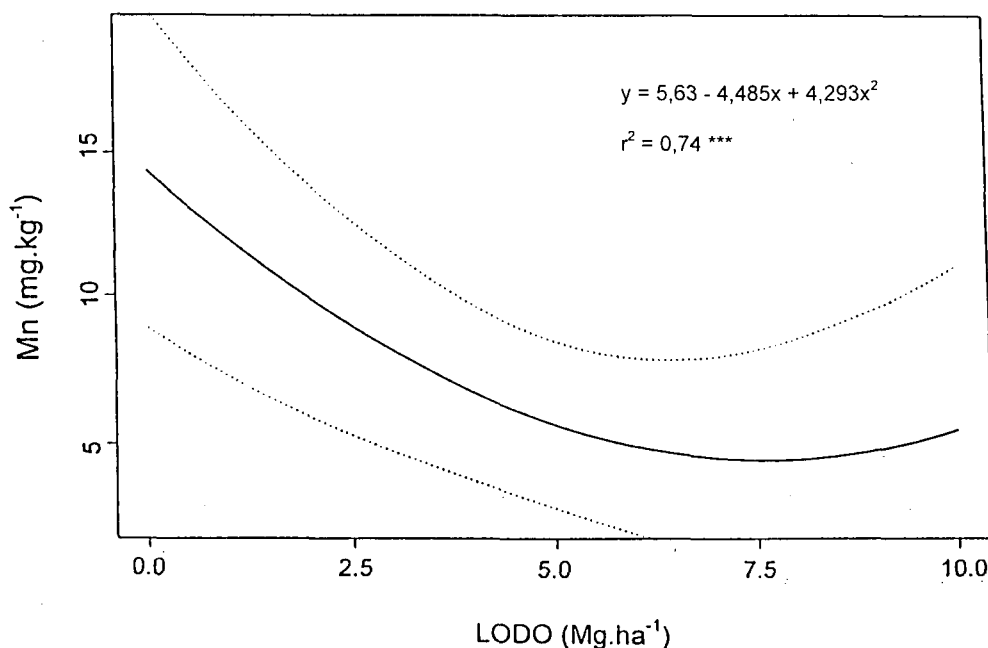
FIGURA 22 - EFEITO DO LODO E DO FERTILIZANTE SOBRE O TEOR DE K E N NO TECIDO VEGETAL



*** Significativo a 0,1% no teste F.

Os tecidos tiveram seus teores de Mn e Zn afetados apenas pela aplicação do lodo, que provocou a redução do primeiro nutriente (figura 23) e a elevação do último, cujo $r^2 = 0,09^*$.

FIGURA 23 - EFEITOS DO LODO SOBRE O TEOR DE Mn NO TECIDO VEGETAL



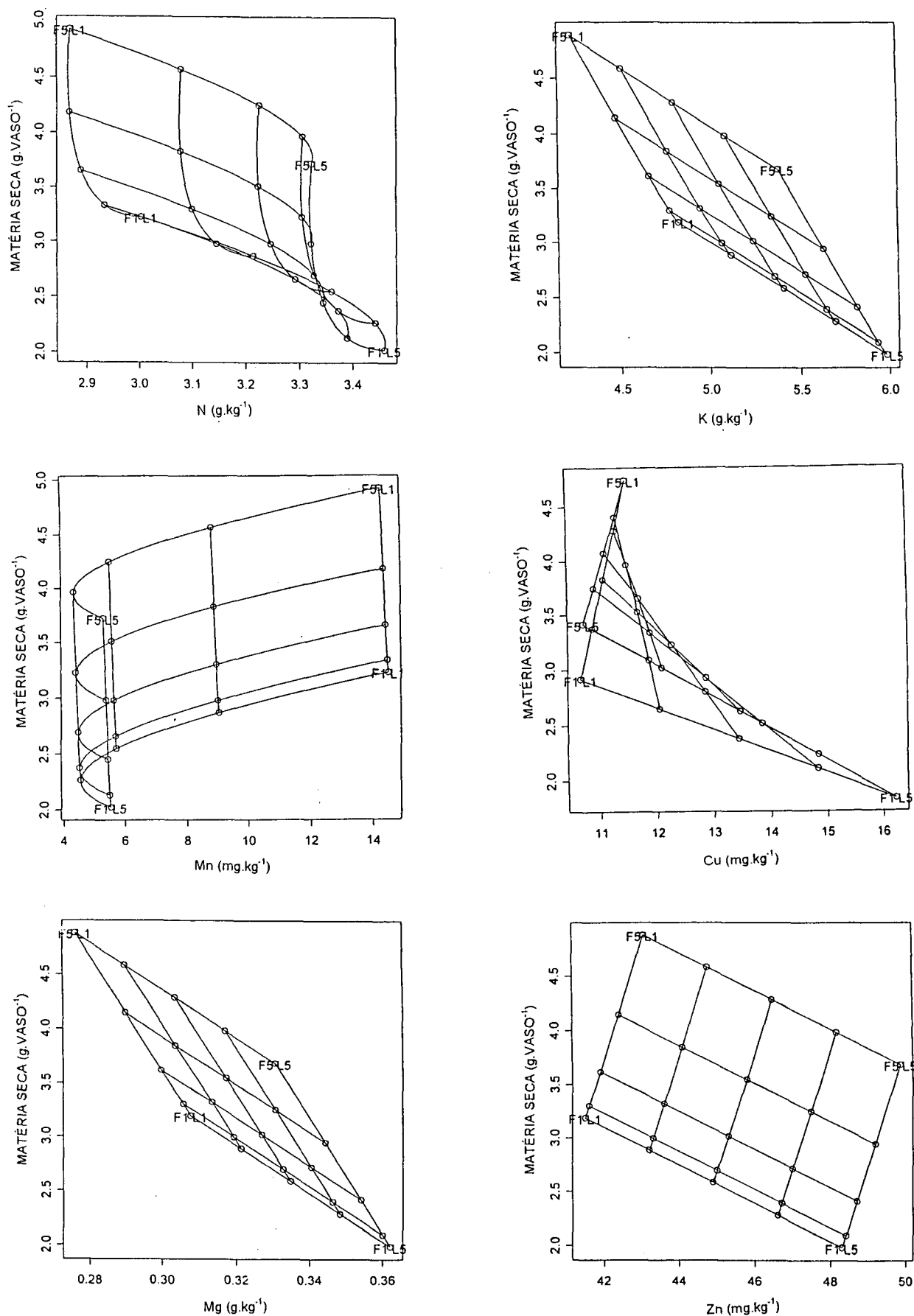
*** Significativo a 0,1% no teste F.

Os teores dos demais elementos do tecido vegetal analisados (P, Ca e Fe) não sofreram alterações significativas.

Esses resultados indicam que o fertilizante causou efeito de diluição, conhecido como efeito de Steenbjerg (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1989), por favorecer a produção de matéria seca em maior velocidade que a da absorção ou do transporte do N, do K e do Cu. O lodo, ao contrário, exerceu efeito de concentração sobre esses elementos, inclusive sobre Mg e Zn por reduzir a produção de matéria seca. Somente o Mn teve seu teor reduzido juntamente com o decréscimo da matéria seca (Figura 24). Os demais elementos tiveram absorção e transporte compatíveis com o desenvolvimento das plantas de trigo.

O comportamento do Mn nas avaliações se distingue dos demais nutrientes. Ele foi o único elemento que teve redução em seu teor no tecido, acompanhando a redução na produção de matéria seca, pela aplicação de doses crescentes de lodo, além de ter seus teores no tecido vegetal aquém daqueles considerados adequados para a cultura do trigo (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1989). A elevação do pH pode reduzir a disponibilidade do Mn no solo, porém outro fator que pode restringir a absorção do elemento pelas plantas é o excesso de Ca na solução do solo (LOPES, 1999).

FIGURA 24 – EFEITOS DO LODO E DO FERTILIZANTE SOBRE A PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA E OS TEORES DE N, K, Mn, Cu, Mg E Zn NAS PLANTAS DE TRIGO (F = FERTILIZANTE, L = LODO, 1 A 5 = DOSES)



Lembre-se aqui que o Ca além da elevação do teor no solo (Figura 17), foi o único elemento que teve seu nível de suficiência aumentado de médio para alto, enquanto os demais elementos que sofreram alterações em seus teores mantiveram-se dentro do nível de suficiência em que se encontravam antes das aplicações.

Esse comportamento pode explicar o efeito limitante que a carência do Mn provocou nas plantas. O baixo conteúdo de Mn na planta desencadeou todos os efeitos danosos, observados nos vasos que receberam doses crescentes de lodo de esgoto. O Mn é um micronutriente essencial que tem função estrutural por compor a proteína denominada manganina, além de ser constituinte e ativador de enzimas. “Aparentemente sua função mais importante nas plantas está relacionada com os processos de oxiredução, porém a mais estudada refere-se à sua participação no desdobramento da molécula da água e na evolução do O_2 no sistema fotossintético.” (DECHEN et al., 1991)

Tal qual os resultados das regressões para os parâmetros morfológicos e produção de matéria seca, a extração de nutrientes/vaso demonstra o efeito negativo causado pela aplicação do lodo, bem como o efeito benéfico e restaurador do fertilizante, sobre a quantidade de nutrientes absorvidos (Tabela 9 e Figura 25). Somente a extração de Cu não foi significativamente afetada pela aplicação do lodo, respondendo apenas à aplicação do fertilizante, com a seguinte equação de regressão: $z = 35,153 + 5,835x - 3,39y$, e $r^2 = 0,14^{**}$.

TABELA 9 - COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO (r^2) PARA A EXTRAÇÃO/VASO DE P, Ca, Mn e Fe

VARIÁVEL	r^2
P	0,36 ***
Ca	0,28 ***
Mn	0,24 ***
Fe	0,29 ***

*** Significativo a 0,1% no teste F.

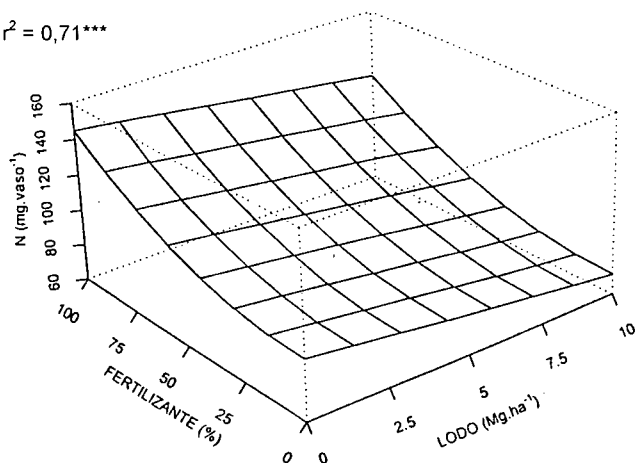
Considerando-se a lei do mínimo, torna-se difícil explicar o efeito restaurador do fertilizante, tendo em vista que o mesmo não continha Mn em sua composição. Entretanto, no processo de absorção, 80% desse elemento se movimenta no solo por difusão (COSTA; OLIVEIRA, 1998). As plantas que receberam fertilizante podem ter tido um melhor estabelecimento inicial, inclusive do sistema

radicular. Isso pode ter feito a diferença no acesso ao Mn disponível, tendo em vista a dependência do processo de difusão. Outro fator de grande importância é que o fertilizante contém duas fontes de nutrientes que geram reação ácida nas imediações do local de aplicação – o fosfato monocálcico da fórmula 4-14-8 e o sulfato de amônio. Essas reações são explicadas por BRADY (1989). Essa acidificação pode ter disponibilizado o Mn que encontrava-se em formas menos solúveis, justificando o efeito recuperador do fertilizante sobre as plantas de trigo.

FIGURA 25 - EFEITOS DO LODO E DO FERTILIZANTE SOBRE A EXTRAÇÃO DE N, K, Mg E Zn PELAS PLANTAS DE TRIGO

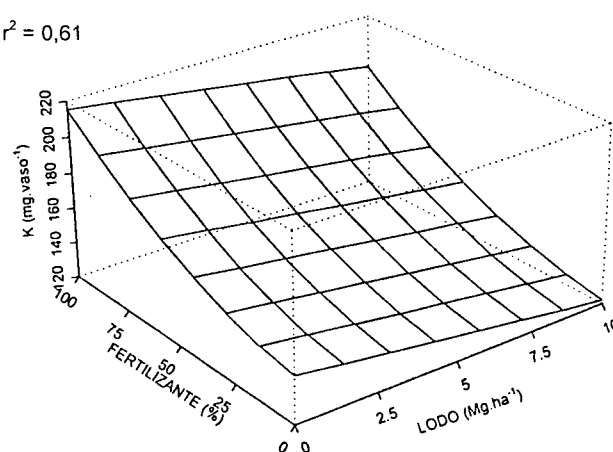
$$z = 96,439 + 25,65x - 11,35y + xy + 12,95x^2 - 2,66y^2$$

$$r^2 = 0,71^{***}$$



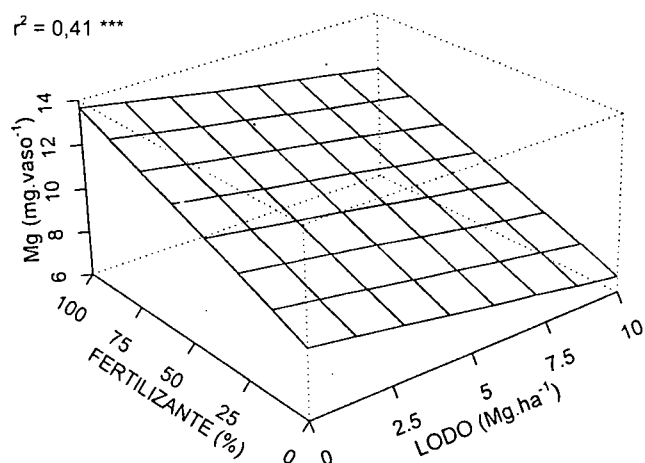
$$z = 157,236 + 34,617x - 12,209y + xy + 12,731x^2 - 2,633y^2$$

$$r^2 = 0,61$$



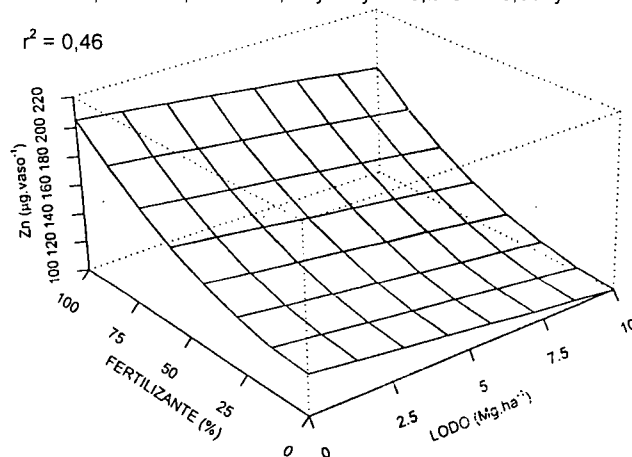
$$z = 9,410 + 2,317x - 1,16y$$

$$r^2 = 0,41^{***}$$



$$z = 130,042 + 39,262x - 13,13y + xy + 18,248x^2 - 8,332y^2$$

$$r^2 = 0,46$$

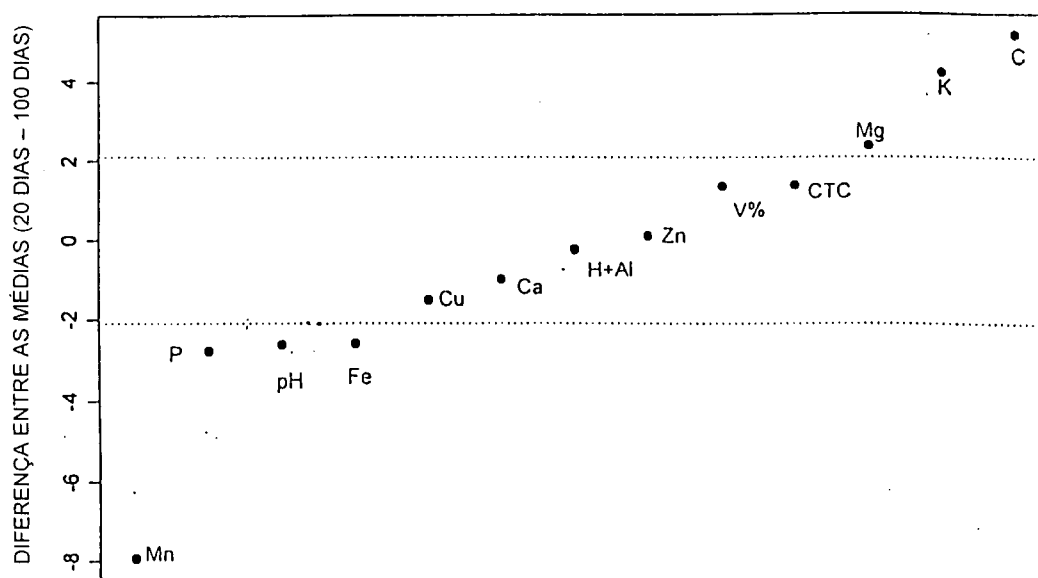


*** Significativo a 0,1% no teste F.

4.3 EFEITOS DO LODO NO SOLO AO LONGO DO TEMPO

Com os resultados das análises de solo, tomadas após o corte do trigo, fez-se a comparação de médias entre ambas as épocas amostradas: 20 dias e 100 dias após a aplicação do lodo (somente no tratamento sem fertilizante). O teste T pareado revelou que para os teores de Cu, Ca, H + Al, Zn e valores de V% e CTC, não houve alterações no intervalo de 80 dias entre as amostragens. Pequenas diferenças entre médias foram detectadas nos teores de P, pH e Fe, que aumentaram ao longo do tempo, e Mg teve redução. As maiores alterações ao longo desse período ocorreram com o K e o C, que tiveram seus teores reduzidos, e o com Mn, que sofreu a maior alteração de todos os elementos, tendo seu teor aumentado (Figura 26).

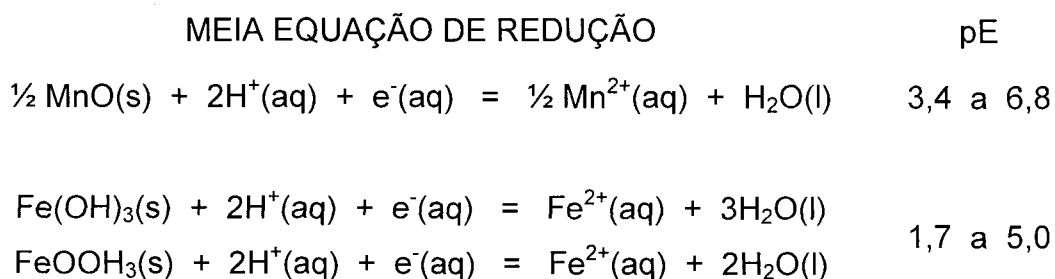
FIGURA 26 - EFEITOS DO LODO AO LONGO DO TEMPO SOBRE AS VARIÁVEIS DO SOLO



Em relação à redução do teor de C, esse resultado deve estar relacionado ao aumento da atividade biológica devido ao efeito corretivo do lodo, que por sua vez estimulou a oxidação do C orgânico do solo e sua conseqüente diminuição.

Esse comportamento já foi anteriormente comentado, na primeira análise de solo, e está de acordo com o resultado obtido por FAVARETTO et al.(1997), que encontrou tendência de redução do teor de C do solo devido a aplicações de lodo alcalinizado variando de 36 a 96 Mg.ha⁻¹ em base úmida. O alto teor de N e a baixa relação C/N parece fazer do lodo uma excelente fonte de energia para os microorganismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica.

Quanto ao Mn, esperava-se que seu teor no solo se mantivesse estável, ou então que houvesse certa redução em relação à primeira amostragem, seguindo o mesmo raciocínio de sua relação com o pH. Entretanto, a comparação entre médias revela aumento em seu teor. A explicação para tal fato pode estar na alteração da solubilidade do elemento, em função do pE. Como descrito na seção Material e Métodos, após a semeadura do trigo as irrigações foram mais freqüentes e normalmente em maiores volumes (Anexo 2). Essa condição pode ter favorecido a diminuição do pE, principalmente no período mais próximo à segunda amostragem, quando ocorreram as maiores adições de água do período. Isso favoreceu o aumento do teor de Mn²⁺ no solo na segunda amostragem. Tal qual o Mn, o Fe é também um elemento que tem sua solubilidade controlada pelo valor pE. Entretanto, para ocorrer sua redução, esse valor em pH neutro deve ser menor que o do Mn, ou seja, necessita-se de ambiente mais reduzido, conforme demonstram as equações de meia reação de redução e suas respectivas faixas de inicial de pE, para solos com pH 7,0 (SPOSITO, 1989):



Esses resultados reforçam a idéia de que o lodo de esgoto é um material de reação e ação rápidas, pois tanto os elementos em sua maioria, como a saturação por bases e as cargas negativas do solo, que aumentaram na primeira avaliação, não se alteraram ao longo do tempo avaliado ou alteraram-se pouco.

5 CONCLUSÃO

Sob as condições em que este trabalho foi conduzido, pode-se concluir que o lodo de esgoto alcalinizado aplicado ao solo atua como fornecedor de nutrientes essenciais às plantas, com destaque para Ca e P, e, em menor intensidade, K, Zn e Cu, atuando portanto como complemento da adubação mineral.

Apesar do alto teor de matéria orgânica contida no lodo, aplicações de até 10,0 Mg.ha⁻¹ em base seca não corresponde a aumento da mesma no solo.

O lodo de esgoto alcalino tem efeito corretivo de acidez do solo por atuar sobre a elevação do pH e reduzir a acidez potencial (H + Al), agindo de maneira rápida.

Seu efeito residual sobre os parâmetros químicos do solo utilizado neste trabalho, no período avaliado (20 e 100 dias após a aplicação no solo), é pequeno. Tanto a reação do solo como o teor de nutrientes não sofreram grandes variações entre as avaliações.

A elevação excessiva do pH reduz a disponibilidade do Mn na solução do solo, causando a deficiência do mesmo na planta de trigo. Esta por sua vez causa redução na estatura, diâmetro do colmo, área foliar e produção de matéria seca das plantas de trigo.

O fertilizante tanto isoladamente como em conjunto com o lodo tem efeito inverso sobre as características morfológicas acima citadas, e aumenta a produção de matéria seca do trigo.

O uso do lodo alcalino na agricultura tendo como base somente o fornecimento de nutrientes, sem considerar seu efeito corretivo da acidez, é uma prática de risco, em solos sob tais condições. Esta prática pode causar prejuízos ao agricultor e danos ao solo, pela elevação excessiva do pH.

6 SUGESTÃO

Baseado nos resultados deste trabalho, sugerimos que novas investigações sejam conduzidas focando o uso do lodo de esgoto alcalino como corretivo da acidez do solo. Inverso ao objetivo deste trabalho, o fertilizante mineral poderá ser o complemento dos nutrientes que faltarem, em doses de lodo objetivando aumento da saturação por bases.

ANEXOS

ANEXO 1 - NÍVEIS DE SUFICIÊNCIA DOS ELEMENTOS NO SOLO.....	47
ANEXO 2 - DATAS E VOLUMES DE IRRIGAÇÃO DURANTE A CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO	48
ANEXO 3 - ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS REGRESSÕES PARA AS VARIÁVEIS pH, H + Al, V% e P NA PRIMEIRA AMOSTRAGEM DE SOLO (20 DIAS APÓS A APLICAÇÃO DO LODO DE ESGOTO).....	49
ANEXO 4 - ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS REGRESSÕES PARA AS VARIÁVEIS Ca, Mn, C e CTC NA PRIMEIRA AMOSTRAGEM DE SOLO (20 DIAS APÓS A APLICAÇÃO DO LODO DE ESGOTO).....	50
ANEXO 5 - ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS REGRESSÕES PARA AS VARIÁVEIS Cu, Fe, K e Mg NA PRIMEIRA AMOSTRAGEM DE SOLO (20 DIAS APÓS A APLICAÇÃO DO LODO DE ESGOTO).....	51
ANEXO 6 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA REGRESSÃO PARA A VARIÁVEL Zn NA PRIMEIRA AMOSTRAGEM DE SOLO (20 DIAS APÓS A APLICAÇÃO DO LODO DE ESGOTO).....	52
ANEXO 7 - ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS REGRESSÕES PARA AS VARIÁVEIS MATÉRIA SECA, DIÂMETRO DO COLMO E ESTATURA DE PLANTA.....	53
ANEXO 8 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA REGRESSÃO PARA A VARIÁVEL ÁREA FOLIAR.....	54
ANEXO 9 - ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS REGRESSÕES PARA AS VARIÁVEIS TEOR DE N, P e K NO TECIDO VEGETAL.....	55
ANEXO 10 - ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS REGRESSÕES PARA AS VARIÁVEIS TEOR DE Ca, Mg e Cu NO	

TECIDO VEGETAL.....	56
ANEXO 11 - ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS REGRESSÕES PARA AS VARIÁVEIS TEOR DE Fe, Mn e Zn NO TECIDO VEGETAL.....	57
ANEXO 12 - ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS REGRESSÕES PARA AS VARIÁVEIS EXTRAÇÃO/VASO DE N, P e K.....	58
ANEXO 13 - ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS REGRESSÕES PARA AS VARIÁVEIS EXTRAÇÃO/VASO DE Ca, Mg e Cu.....	59
ANEXO 14 - ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS REGRESSÕES PARA AS VARIÁVEIS EXTRAÇÃO/VASO DE Fe, Mn e Zn.....	60
ANEXO 15 - COEFICIENTES (β) PARA AS EQUAÇÕES DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA MÚLTIPLA DAS VARIÁVEIS TEOR DE N, K, Mg, Mn e Cu, CORRELACIONADAS COM A PRODUÇÃO DE DE MATÉRIA SECA (MS) EM FUNÇÃO DAS CO-VARIADAS FERTILIZANTE E LODO.....	61
ANEXO 16 - COEFICIENTE (β) PARA A EQUAÇÃO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA MÚLTIPLA DA VARIÁVEL TEOR DE Zn, CORRELACIONADA COM A PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA (MS) EM EM FUNÇÃO DAS CO-VARIADAS FERTILIZANTE E LODO.....	62

ANEXO 1 - NÍVEIS DE SUFICIÊNCIA DOS ELEMENTOS NO SOLO

NUTRIENTE	ALTO	MÉDIO	BAIXO	AUTOR
P [*] Mehlich (mg.dm ⁻³)	< 4,0	4,0 a 9,0	> 9,0	LIMA et al. (1994)
K [*] (cmol _c .dm ⁻³)	< 0,1	0,11 a 0,30	> 0,3	"
Ca (cmol _c .dm ⁻³)	< 2,0	2,0 a 4,0	> 4,0	RAIJ et al. (1996)
Mg (cmol _c .dm ⁻³)	< 0,4	0,4 a 0,8	> 0,8	"
Cu ^{**} (mg.dm ⁻³)	< 0,2	0,3 a 0,8	> 0,8	"
Fe (mg.dm ⁻³)	< 4,0	5,0 a 12,0	> 12,0	"
Mn (mg.dm ⁻³)	< 1,2	1,3 a 5,0	> 5,0	"
Zn (mg.dm ⁻³)	< 0,5	0,6 a 1,2	> 1,2	"

NOTAS: Para o P os níveis são específicos para a cultura do trigo no Paraná.
Os Micronutrientes foram extraídos por DTPA-TEA.

ANEXO 2 - DATAS E VOLUMES DE IRRIGAÇÃO DURANTE A CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

DIA	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO
	mL	mL	mL	mL
1				400
2				
3				
4				
5				
6			250	
7				200
8				
9				
10				400
11		353		
12		135		
13			250	
14				
15				400
16				
17			200	
18				400
19		100		
20				
21	150			
22				
23	150	225	200	400
24		200		
25				
26				
27		200		
28	125		200	
29				
30				
31				
TOTAL	425	1.213	1.100	2.200

**ANEXO 3 - ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS REGRESSÕES PARA AS VARIÁVEIS
pH, H + AI, V% e P NA PRIMEIRA AMOSTRAGEM DE SOLO (20 DIAS
APÓS A APLICAÇÃO DO LODO DE ESGOTO)**

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA pH

CAUSAS DA VARIÇÃO	GRAU DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (p)
Lodo	1	4,651	4,651	117,097	0,00
Lodo ²	1	0,201	0,201	5,058	0,027
Resíduo	97	3,853	0,04		

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA H + AI

CAUSAS DA VARIÇÃO	GRAU DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (p)
Lodo	1	0,878	0,878	100,811	0,00
Lodo ²	1	0,151	0,151	17,832	0,00
Resíduo	97	0,845	0,009		

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA V%

CAUSAS DA VARIÇÃO	GRAU DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (p)
Lodo	1	366,392	366,392	80,950	0,00
Lodo ²	1	8,470	8,470	1,871	0,174
Resíduo	97	439,039	4,526		

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA P

CAUSAS DA VARIÇÃO	GRAU DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (p)
Lodo	1	1590,480	1590,480	51,456	0,00
Lodo ²	1	96,057	96,057	3,108	0,081
Resíduo	97	2998,213	30,909		

**ANEXO 4 - ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS REGRESSÕES PARA AS VARIÁVEIS
Ca, Mn, C e CTC NA PRIMEIRA AMOSTRAGEM DE SOLO (20 DIAS
APÓS A APLICAÇÃO DO LODO DE ESGOTO)**

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA Ca

CAUSAS DA VARIAÇÃO	GRAU DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (p)
Lodo	1	17,346	17,346	93,994	0,00
Lodo ²	1	0,34	0,34	0,186	0,667
Resíduo	97	17,901	0,185		

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA Mn

CAUSAS DA VARIAÇÃO	GRAU DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (p)
Lodo	1	16,035	16,035	109,871	0,00
Lodo ²	1	1,06	1,060	7,265	0,008
Resíduo	97	14,156	0,146		

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA C

CAUSAS DA VARIAÇÃO	GRAU DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (p)
Lodo	1	0,022	0,022	0,058	0,809
Lodo ²	1	0,201	0,201	0,533	0,467
Resíduo	97	36,57	0,377		

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CTC

CAUSAS DA VARIAÇÃO	GRAU DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (p)
Lodo	1	9,592	9,592	15,274	0,00
Lodo ²	1	0,481	0,481	0,765	0,384
Resíduo	97	60,916	0,628		

ANEXO 5 - ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS REGRESSÕES PARA AS VARIÁVEIS Cu, Fe, K e Mg NA PRIMEIRA AMOSTRAGEM DE SOLO (20 DIAS APÓS A APLICAÇÃO DO LODO DE ESGOTO)

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA Cu

CAUSAS DA VARIÇÃO	GRAU DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (p)
Lodo	1	0,061	0,061	6,281	0,014
Lodo ²	1	0,038	0,038	3,892	0,051
Resíduo	97	0,946	0,010		

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA Fe

CAUSAS DA VARIÇÃO	GRAU DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (p)
Lodo	1	7,635	7,635	3,435	0,067
Lodo ²	1	7,931	7,931	3,569	0,062
Resíduo	97	215,578	2,222		

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA K

CAUSAS DA VARIÇÃO	GRAU DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (p)
Lodo	1	0,002	0,002	7,621	0,007
Lodo ²	1	0,000	0,000	1,778	0,186
Resíduo	97	0,020	0,000		

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA Mg

CAUSAS DA VARIÇÃO	GRAU DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (p)
Lodo	1	0,014	0,014	0,037	0,847
Lodo ²	1	0,170	0,170	0,440	0,509
Resíduo	97	37,513	0,387		

ANEXO 6 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA REGRESSÃO PARA A VARIÁVEL Zn NA PRIMEIRA AMOSTRAGEM DE SOLO (20 DIAS APÓS A APLICAÇÃO DO LODO DE ESGOTO)

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA Zn

CAUSAS DA VARIÇÃO	GRAU DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (p)
Lodo	1	0,659	0,659	10,314	0,002
Lodo ²	1	0,883	0,883	13,814	0,000
Resíduo	97	6,197	0,064		

ANEXO 7 - ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS REGRESSÕES PARA AS VARIÁVEIS MATÉRIA SECA, DIÂMETRO DO COLMO E ESTATURA DE PLANTA

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA MATÉRIA SECA

CAUSAS DA VARIAÇÃO	GRAU DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (p)
Fertilizante	1	36,039	36,039	147,741	0,000
Lodo	1	17,770	17,770	72,847	0,000
Fertilizante ²	1	3,106	3,106	12,734	0,001
Lodo ²	1	0,085	0,085	0,349	0,556
Fertilizante : Lodo	1	0,095	0,095	0,388	0,535
Resíduo	93	22,686	0,244		

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA DIÂMETRO DO COLMO

CAUSAS DA VARIAÇÃO	GRAU DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (p)
Fertilizante	1	2,622	2,622	52,742	0,000
Lodo	1	1,805	1,805	36,307	0,000
Fertilizante ²	1	0,049	0,049	0,983	0,324
Lodo ²	1	0,057	0,057	1,149	0,286
Fertilizante : Lodo	1	0,012	0,012	0,243	0,623
Resíduo	93	4,673	0,050		

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA ESTATURA DE PLANTA

CAUSAS DA VARIAÇÃO	GRAU DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (p)
Fertilizante	1	2095,634	2095,634	60,409	0,000
Lodo	1	957,906	957,906	27,613	0,000
Fertilizante ²	1	95,122	95,122	2,742	0,101
Lodo ²	1	5,349	5,349	0,154	0,695
Fertilizante : Lodo	1	28,143	28,143	0,811	0,370
Resíduo	93	3260,929	34,691		

ANEXO 8 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA REGRESSÃO PARA A VARIÁVEL ÁREA FOLIAR

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA ÁREA FOLIAR

CAUSAS DA VARIAÇÃO	GRAU DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (p)
Fertilizante	1	2901,70	2901,70	20,601	0,000
Lodo	1	774,21	774,21	5,497	0,021
Fertilizante ²	1	62,80	62,80	0,446	0,506
Lodo ²	1	2,78	2,78	0,020	0,889
Fertilizante : Lodo	1	1619,66	1619,66	11,499	0,001
Resíduo	93	13240,14	140,853		

ANEXO 9 - ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS REGRESSÕES PARA AS VARIÁVEIS TEOR DE N, P e K NO TECIDO VEGETAL

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA N

CAUSAS DA VARIAÇÃO	GRAU DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (p)
Fertilizante	1	0,228	0,228	4,198	0,043
Lodo	1	2,588	2,588	47,689	0,000
Fertilizante ²	1	0,038	0,038	0,704	0,404
Lodo ²	1	0,294	0,294	5,414	0,022
Fertilizante : Lodo	1	0,016	0,016	0,295	0,588
Resíduo	93	5,101	0,054		

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA P

CAUSAS DA VARIAÇÃO	GRAU DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (p)
Fertilizante	1	0,013	0,013	1,691	0,197
Lodo	1	0,001	0,001	0,106	0,746
Fertilizante ²	1	0,020	0,020	2,501	0,117
Lodo ²	1	0,020	0,020	2,480	0,119
Fertilizante : Lodo	1	0,006	0,006	0,746	0,390
Resíduo	93	0,748	0,008		

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA K

CAUSAS DA VARIAÇÃO	GRAU DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (p)
Fertilizante	1	460,561	460,561	27,601	0,000
Lodo	1	1674,468	1674,468	100,350	0,000
Fertilizante ²	1	32,846	32,846	1,968	0,164
Lodo ²	1	30,426	30,426	1,823	0,180
Fertilizante : Lodo	1	41,024	41,024	2,459	0,120
Resíduo	93	1568,504	16,686		

ANEXO 10 - ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS REGRESSÕES PARA AS VARIÁVEIS TEOR DE Ca, Mg e Cu NO TECIDO VEGETAL

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA Ca

CAUSAS DA VARIAÇÃO	GRAU DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (p)
Fertilizante	1	0,300	0,300	3,263	0,074
Lodo	1	0,057	0,057	0,621	0,433
Fertilizante ²	1	0,008	0,008	0,086	0,770
Lodo ²	1	0,003	0,003	0,034	0,853
Fertilizante : Lodo	1	0,044	0,044	0,475	0,493
Resíduo	93	8,651	0,092		

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA Mg

CAUSAS DA VARIAÇÃO	GRAU DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (p)
Fertilizante	1	0,012	0,012	5,134	0,026
Lodo	1	0,037	0,037	15,410	0,000
Fertilizante ²	1	0,001	0,001	0,450	0,504
Lodo ²	1	0,001	0,001	0,434	0,512
Fertilizante : Lodo	1	0,002	0,002	0,920	0,340
Resíduo	93	0,226	0,002		

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA Cu

CAUSAS DA VARIAÇÃO	GRAU DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (p)
Fertilizante	1	69,031	69,031	4,628	0,034
Lodo	1	72,000	72,000	4,828	0,030
Fertilizante ²	1	0,000	0,000	0,000	1,000
Lodo ²	1	30,558	30,558	2,049	0,156
Fertilizante : Lodo	1	63,004	63,004	4,224	0,043
Resíduo	93	1401,954	14,914		

ANEXO 11 - ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS REGRESSÕES PARA AS VARIÁVEIS TEOR DE Fe, Mn e Zn NO TECIDO VEGETAL

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA Fe

CAUSAS DA VARIAÇÃO	GRAU DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (p)
Fertilizante	1	775,2	775,2	0,574	0,450
Lodo	1	388,5	388,5	0,288	0,593
Fertilizante ²	1	191,0	191,0	0,141	0,708
Lodo ²	1	1896,7	1896,7	1,405	0,239
Fertilizante : Lodo	1	808,7	808,7	0,599	0,441
Resíduo	93	126887,6	1349,868		

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA Mn

CAUSAS DA VARIAÇÃO	GRAU DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (p)
Fertilizante	1	0,605	0,605	0,124	0,726
Lodo	1	1005,761	1005,761	205,778	0,000
Fertilizante ²	1	0,014	0,014	0,003	0,957
Lodo ²	1	322,501	322,501	65,983	0,000
Fertilizante : Lodo	1	2,481	2,481	0,508	0,478
Resíduo	93	459,435	4,888		

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA Zn

CAUSAS DA VARIAÇÃO	GRAU DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (p)
Fertilizante	1	30,890	30,890	0,321	0,572
Lodo	1	578,340	578,340	6,007	0,016
Fertilizante ²	1	2,470	2,470	0,026	0,873
Lodo ²	1	139,026	139,026	1,444	0,233
Fertilizante : Lodo	1	107,589	107,589	1,117	0,293
Resíduo	93	9050,363	9050,363		

ANEXO 12 - ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS REGRESSÕES PARA AS VARIÁVEIS EXTRAÇÃO/VASO DE N, P e K

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA N

CAUSAS DA VARIAÇÃO	GRAU DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (p)
Fertilizante	1	32900,74	32900,74	176,400	0,000
Lodo	1	6437,04	6437,04	34,513	0,000
Fertilizante ²	1	2934,15	2934,15	15,732	0,000
Lodo ²	1	123,96	123,96	0,665	0,417
Fertilizante : Lodo	1	1,27	1,27	0,007	0,934
Resíduo	93	17532,13	186,51		

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA P

CAUSAS DA VARIAÇÃO	GRAU DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (p)
Fertilizante	1	274,646	274,646	24,965	0,000
Lodo	1	184,166	184,166	16,740	0,000
Fertilizante ²	1	92,380	92,380	8,897	0,005
Lodo ²	1	30,518	30,518	2,774	0,099
Fertilizante : Lodo	1	2,608	2,608	0,237	0,627
Resíduo	93	1034,120	11,001		

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA K

CAUSAS DA VARIAÇÃO	GRAU DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (p)
Fertilizante	1	59916,83	59916,83	123,030	0,000
Lodo	1	7453,23	7453,23	15,304	0,000
Fertilizante ²	1	2836,56	2836,56	5,824	0,018
Lodo ²	1	121,31	121,31	0,249	0,619
Fertilizante : Lodo	1	0,87	0,87	0,002	0,966
Resíduo	93	45778,84	487,01		

ANEXO 13 - ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS REGRESSÕES PARA AS VARIÁVEIS EXTRAÇÃO/VASO DE Ca, Mg e Cu

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA Ca

CAUSAS DA VARIAÇÃO	GRAU DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (p)
Fertilizante	1	3441,43	3441,43	20,123	0,000
Lodo	1	2167,39	2167,39	12,673	0,001
Fertilizante ²	1	380,14	380,14	2,223	0,139
Lodo ²	1	58,20	58,20	0,340	0,561
Fertilizante : Lodo	1	44,44	44,44	0,260	0,611
Resíduo	93	16076,09	171,022		

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA Mg

CAUSAS DA VARIAÇÃO	GRAU DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (p)
Fertilizante	1	268,355	268,355	48,726	0,000
Lodo	1	67,245	67,245	12,210	0,001
Fertilizante ²	1	16,753	16,753	3,042	0,084
Lodo ²	1	6,160	6,160	1,118	0,293
Fertilizante : Lodo	1	3,460	3,460	0,628	0,430
Resíduo	93	517,699	5,507		

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA Cu

CAUSAS DA VARIAÇÃO	GRAU DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (p)
Fertilizante	1	1702,30	1702,30	10,803	0,001
Lodo	1	574,74	574,74	3,647	0,059
Fertilizante ²	1	99,78	99,78	0,633	0,428
Lodo ²	1	148,60	148,60	0,943	0,334
Fertilizante : Lodo	1	41,24	41,24	0,262	0,610
Resíduo	93	14812,22	157,577		

ANEXO 14 - ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS REGRESSÕES PARA AS VARIÁVEIS EXTRAÇÃO/VASO DE Fe, Mn e Zn

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA Fe

CAUSAS DA VARIAÇÃO	GRAU DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (p)
Fertilizante	1	349632	349632,0	20,536	0,000
Lodo	1	225849	225849,0	13,265	0,000
Fertilizante ²	1	26776	26776,0	1,573	0,213
Lodo ²	1	40716	40716,0	2,392	0,125
Fertilizante : Lodo	1	23630	23630,0	1,388	0,242
Resíduo	93	1600383	17025,4		

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA Mn

CAUSAS DA VARIAÇÃO	GRAU DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (p)
Fertilizante	1	1321,957	1321,957	13,014	0,000
Lodo	1	1175,155	1175,155	11,569	0,001
Fertilizante ²	1	444,654	444,654	4,377	0,039
Lodo ²	1	79,055	79,055	0,778	0,380
Fertilizante : Lodo	1	52,904	52,904	0,521	0,472
Resíduo	93	9548,332	101,578		

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA Zn

CAUSAS DA VARIAÇÃO	GRAU DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (p)
Fertilizante	1	77076,4	77076,4	65,715	0,000
Lodo	1	8620,2	8620,2	7,350	0,008
Fertilizante ²	1	5827,0	5827,0	4,968	0,028
Lodo ²	1	1214,9	1214,9	1,036	0,311
Fertilizante : Lodo	1	238,6	238,6	0,203	0,653
Resíduo	93	110252,1	1172,89		

ANEXO 15 - COEFICIENTES (β) PARA AS EQUAÇÕES DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA MÚLTIPLA DAS VARIÁVEIS TEOR DE N, K, Mg, Mn e Cu, CORRELACIONADAS COM A PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA (MS) EM FUNÇÃO DAS CO-VARIADAS FERTILIZANTE E LODO

COEFICIENTES PARA N

CAUSAS DA VARIAÇÃO	β N	β MS
Intercept	3,247	2,977
Fert	-0,068	0,849
Lodo	0,228	0,601
Fert ²	0,047	0,420
Lodo ²	-0,130	0,073

COEFICIENTES PARA K

CAUSAS DA VARIAÇÃO	β K	β MS
Intercept	5,238	3,013
Fert	-0,304	0,849
Lodo	0,579	-0,601
Fert ²	-0,137	0,420

COEFICIENTES PARA Mg

CAUSAS DA VARIAÇÃO	β Mg	β MS
Intercept	0,327	3,013
Fert	-0,016	0,849
Lodo	0,027	-0,601
Fert ²	-0,008	0,420

COEFICIENTES PARA Mn

CAUSAS DA VARIAÇÃO	β Mn	β MS
Intercept	5,630	2,977
Fert	-0,110	0,849
Lodo	-4,485	-0,601
Fert ²	-0,007	0,420
Lodo ²	-0,228	0,073

COEFICIENTES PARA Cu

CAUSAS DA VARIAÇÃO	β	β MS
Intercept	12,26	3,223
Fert	-1,18	0,849
Lodo	1,20	-0,601
Fert : Lodo	1,59	-0,062

ANEXO 16 - COEFICIENTE (β) PARA A EQUAÇÃO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA MÚLTIPLA DA VARIÁVEL TEOR DE Zn, CORRELACIONADA COM A PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA (MS) EM FUNÇÃO DAS CO-VARIADAS FERTILIZANTE E LODO

COEFICIENTES PARA Zn

CAUSAS DA VARIAÇÃO	β Zn	β MS
Intercept	45,306	3,013
Fert	0,786	0,849
Lodo	3,401	-0,601
Fert ²	0,376	0,420

REFERÊNCIAS

- ABREU, S. B. **Efeito do lodo de esgoto alcalinizado na disponibilidade de micronutrientes de dois solos da região de Ponta Grossa-PR.** Curitiba, 1988. 44f. Monografia (Conclusão do Curso de Agronomia) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- ALBRECHT, J. Mega-cidades: Metrópolis ou ciclópodes? **Deutschland**, Frankfurt, 1995. Edição especial.
- ANDREOLI, C. V. et al. Tratamento e disposição final do lodo de esgoto no Paraná. **Sanare**, Curitiba, v. 1, n. 1, 1994. p. 10 - 15.
- ANDREOLI, C. V. **Disposição final do lodo de esgoto da ETE – Belém.** Curitiba: SANEPAR, 1988. 90p.
- ANDREOLI, C. V. Produção real e estimativas teóricas de lodo de esgoto no estado do Paraná. In: SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BÍOSSÓLIDOS DO MERCOSUL, 1., 1998, Curitiba. **Anais...** Curitiba: editor, data.
- ANDREOLI, C. V. et.al. Tratamento e disposição final do lodo de esgoto no Paraná. **Sanare**, Curitiba, v. 1, n. 1, p. 10-15, 1994a.
- AYUSO, M. et al. Utilización de un lodo aerobio como sustitutivo de fertilizantes fosforados inorgánicos. **Suelo y Planta**, v. 2. p. 271-280, 1992.
- BASSON, W. D. et al. An automated procedure for the determination of boron in plant tissue. **Analyst**, London, v. 94, p. 1135 – 1141, 1969.

BERTON, R. S.; CAMARGO, O. A.; VALADARES, J. M. A. Absorção de nutrientes pelo milho em resposta à adição de lodo de esgoto a cinco solos paulistas. **Rev. Bras. Cien. Solo**, Campinas, v. 13, p. 187-192, 1989.

BETTIOL, W.; CARVALHO, P. C. T.; FRANCO, B. J. D. C. Utilização do lodo de esgoto como fertilizante. **O Solo**, v. 75, n. 1, p. 44-54, 1983.

BONNET, B. R. P. **Diagnóstico situacional e proposição preliminar do plano de monitoramento dos impactos ambientais causados pelo uso agrícola de lodos de esgoto no Paraná**. Curitiba, 1995. 153 f. Monografia (Especialização em Análise Ambiental) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

BORKERT, C. M. Manganês. In: SIMPÓSIO SOBRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA, 1., 1988, Jaboticabal. **Anais...** Piracicaba: Potafos/CNPq, 1991. p. 173 - 190.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 898p.

BROWN, J. R.; BRUSH, L. Lime stabilized sludge treatment acid soils relative to soil acidity minimums for sludge application. **Commun. soil sci. plant anal.**, New York, v. 23, n. 11/12, p. 1257-1273, 1992.

CARDOSO, E. J. B. N. Degradação de resíduos orgânicos pela microbiota do solo. In: REUNIÃO DE FERTILIDADE DE SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., 1992, Piracicaba. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1992. p. 179-93.

CARVALHO, P. C. T.; BARRAL, M. F. Aplicação do lodo de esgoto como fertilizante. **Fertilizantes**, São Paulo, v. 3, n. 2, p. 1-4, 1981.

CARVALHO, P. C. T. Utilização de lodos de esgoto na agricultura. In: COLÓQUIO REGIONAL SOBRE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO, IPT/CEFER, São Paulo, 1982. São Paulo, IPT, 1983, p. 223-6.

CETESB. **Análises físico-químicas para controle de estações de tratamento de esgotos**. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1977.

CHARNET, R. et al. **Introdução aos modelos lineares - com aplicações**. Campinas: Editora da Unicamp, 1999. 340p.

COSTA, J. M.; OLIVEIRA, E. F. **Fertilidade do solo e nutrição de plantas**. Campo Mourão: COAMO/COODETEC, 1998.

CUNNINGHAM, I. D.; KEENEY, D. R.; RYAN, J. A. Yield and metal composition of corn and rye grown on sewage sludge amended soil. **J. Environ. Qual.**, Madison, v. 4, p. 448-54, 1975

DA ROS, C. O. et al. Lodo de esgoto: efeito imediato no milho e residual na associação aveia-ervilhaca. **Rev. Bras. Cien. Solo**, Campinas, v. 17, p. 257-261, 1993.

DECHEN, A. R.; HAAG, P. H.; CARMELLO, Q. A. de C. Funções dos micronutrientes nas plantas. In: SIMPÓSIO SOBRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA, 1., 1988, Jaboticabal. **Anais...** Piracicaba: Potafos/CNPq, 1991. 734 p.

DEIANA, S. et al. Analytical and spectroscopy characterization of humic acids extracted from sewage sludge, manure, and worm compost. **Soil Sci.**, v. 150, p. 419-424, 1990.

DEUS, A. B. S. de. **Avaliação sanitária e ambiental de lodos de ETEs**. Porto Alegre, 1993. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro, 1979.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412p.

FAVARETTO, N. et al. Efeito do lodo de esgoto na fertilidade do solo e no crescimento e produtividade de milho (*Zea mays* L.). **Arq. Biol. Tecnol.**, Curitiba, v. 40, n. 4, p. 837-847, 1997.

FERNANDES, F.; PIERRO, A. C.; YAMAMOTO, R. Y. Produção de fertilizante orgânico por compostagem do lodo gerado por estações de tratamento de esgotos. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 28, n. 5, p. 567-574, 1993.

FERNANDES, F. et al. Aperfeiçoamento da tecnologia de compostagem e controle de patógenos. **Sanare**, Curitiba, v. 5, n. 5, p. 36-45, 1996.

FOLLE, F. et al. Effect of sludge treatment, heavy metals, phosphate rate, and pH on soil phosphorus. **Commun. soil sci. plant anal.**, New York, v. 26, n.9/10, p. 1369-1381, 1995.

GALLOWAY, H. M.; JACOBS, L. W. **Sewage Sludge: I. characteristics and management, utilization of municipal sewage was and sludge on land for agricultural production**. Washington: North Central Regional Extention Publication, 1977.

GLÓRIA, N. A. da. Uso agrônômico de resíduos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DE SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., 1992, Piracicaba. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1992. p. 200-11.

HERNÁNDEZ, M. T. et al. Structural features of humic acidlike substances from sewage sludges. **Soil Science**, Baltimore, v. 149, p. 63-68, 1990.

HERNÁNDEZ, T. et al. Utilizacion de resíduos urbanos como fertilizantes organicos. **Suelo y Planta**, v. 2, p. 373-383, 1992.

HUE, N. V. Correcting soil acidity of a highly weathered ultisol with chicken manure and sewage sludge. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, New York, v. 23, n. 3/4, p. 241-264, 1992.

IAPAR. **Amostragem de solo para análise química: plantio direto e convencional, culturas perenes, várzeas, pastagens e capineiras**. Londrina, 1996. 28 p. (IAPAR circular n. 90).

IBGE. **Resultados preliminares do censo demográfico 2000**. Rio de Janeiro, 2001. 156 p.

KAMPRATH, E. J.; FOY, C. D. Lime-fertilizer-plant interactions in acid soils. In: OLSON, R. A. et al (Ed.). **Fertilizer technology and use**. Madison: Soil Science Society of America, 1971. p.105-51.

KIEHL, J. E. **Manual de edafologia**. São Paulo: Ceres, 1979. 262 p.

KRAUSKOPF, K. B. Geochemistry of micronutrients. In: MORTVEDT, J. J.; GIORDANO, P. M.; LINDSAY, W. L. (Ed.). **Nitrogen in crop production**. Madison, Soil Science Society of America, 1972. p. 7-40.

LANARV. **Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes: método oficial**. Brasília: Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária, 1988.

LIMA, E. et al. Recomendações para as principais culturas do Estado do Paraná. In: PARANÁ. SEAB. **Manual técnico do subprograma de manejo e conservação do solo**. 2 ed. Curitiba, 1994. 372p.

LINDSAY, W. L.; NORVELL, W. A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and cooper. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 42, p. 421-8, 1978.

LOPES, A. S. **Micronutrientes: filosofias de aplicação e eficiência agrônômica**. São Paulo, 1999. 72p. (Boletim técnico, n.8).

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1989. 201p.

MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados, mitos, mistificação e fatos**. São Paulo, ProduQuímica, 1994. 153p

MARTENS, D. A.; FRANKENBERGER Jr., W. T. Modification of infiltration rates in na organic-amended irrigated soil. **Agron. J.**, Madison, v. 84, p. 707-717, 1992.

MARTINS, M. T.; SANCHES, P. S. Caracterização microbiológica de lodos de esgotos e fertilizante organo-mineral. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2., 1983, Camboriú. **Anais...** Florianópolis: ABES, 1983.

MELO, W. J. de et al. Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto sobre as frações da matéria orgânica e CTC de um solo latossolo cultivado com cana-de-açúcar. **Rev. Bras. Cien. Solo**, Campinas, v. 18, p. 449-455, 1994.

MENELIK, G.; RENEAU, R. B.; MARTENS, D. C. Corn yield and nitrogen uptake as influenced by tillage and aplied nitrogen. **J. Plant Nutr.**, New York, v. 17, n. 6, p. 911-931, 1994.

MEYER, M. **Avaliação do efeito corretivo do lodo de esgoto alcalinizado em solos ácidos**. Curitiba, 1998. 44f. Monografia (Conclusão do Curso de Agronomia) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

MILLER, R. H. et. al. Ohio guide for land application of sewage sludge. **Res. Bull.**, Columbus, n., p. 1-15, 1979.

MIYAZAWA, M. et.al. Lixiviação de metais pesados do lodo de esgoto no solo. **Sanare**, Curitiba, v. 5, n. 5, 1996. p. 63-7.

MOBAY CHEMICAL CORPORATION. **Cereal diseases**. Liverkusen, [199?]. 72p.

MONTGOMERY, C. D. **Desingn and analysis of experiments**. 4. ed. Tempe: John Wiley & sons, 1997. 704p.

MOTA, F. S. da. Clima e zoneamento para a cultura do trigo no Brasil. In: Trigo no Brasil. Campinas: Fundação Cargill, 1982. v. 1, p. 27 - 61.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 1999. 399p.

OCEPAR. Recomendações técnicas para a cultura do trigo no estado do Paraná. **Boletim técnico OCEPAR**, Cascavel, n. 37, 1995, 115p.

OLEYNIK, J. **Análise de solos**: tabelas para transformação de resultados analíticos e interpretação de resultados. Curitiba: ACARPA, 1987. 25p.

PANKOW, J. F. **Aquatic chemistry concepts**. Beaverton: Lewis Publishers, 1991. 291p.

PAVAN, M. A; MIYAZAWA, M. Disponibilidade de manganês no solo: dificuldades e problemas na interpretação da análise para fins de fertilidade. . **Rev. Bras. Cien. Solo**, Campinas, v. 8, p. 285-289, 1984.

PAVAN, M. A. et al. **Manual de análise química do solo e controle de qualidade**. Londrina: IAPAR, 1992. 40p.

PERALTA, F.; BORNEMISZA, E.; ALVARADO, A. Zinc adsorption by Andepts from Central Plateau of Costa Rica. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, New York, v. 12, p. 669-82, 1981.

PERKIN ELMER. **Analytical methodes for atomic absortionespectrphotometry agriculture**. Connecticut, 1973.

PIGOZZO, A. T. J. et al. Efeitos da aplicação de lodo de esgoto e resíduo petroquímico no cultivo do milho como fonte de micronutrientes no latossolo vermelho escuro. In: SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BIODSÓLIDOS DO MERCOSUL, 1., 1998, Curitiba. **Anais...** Curitiba: editor, data.

RAIJ, B. Van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres/POTAFOS, 1991. 343p.

RAIJ, B. Van et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2 ed. Campinas: Instituto Agrônômico e Fundação, 1996. 285p. (Boletim Técnico, 100).

RAWAJFIH, Z.; GHARAIBEH, S. High rates of domestic sewage sludge on calcareous soil and their effect on wheat growth using a pot experiment. **Z. Pflanzenernähr. Bodenk**, Weinheim, v. 153, p. 297-300, 1990.

SABEY, B. R. The use of sewage sludge as a fertilizer. **Environ. Eng.**, London, v. 72, p. 108-12, 1974.

SANEPAR. **Manual técnico para utilização agrícola do lodo de esgoto no Paraná.** Curitiba, 1997. 96p.

SANTOS FILHO, A.; TOURINHO, L. C. N. Caracterizações analíticas de lodo e interpretações para fins agrícolas e florestais. Separata de: **Revista Floresta**, Curitiba, v.2, n.1, p. 44-48, 1981.

SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P. **Análises químicas em plantas.** Piracicaba: ESALQ/USP, 1974. 56p.

SILVA, F. C. da. **Uso agrônômico do lodo de esgoto:** efeitos em fertilidade do solo e qualidade da cana-de-açúcar. Piracicaba, 1995. 170f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

SLOAN, J. J.; BASTA, N. T. Remediation of acid soils by using alkaline biosolids. **J. Environ. Qual.**, Madison, v. 24, p. 1097-1103, 1995.

SOMMERS, L. E.; GIORDANO, P. M. Use of nitrogen from agricultural, industrial and municipal wastes. In: HAUCK, R. D. (Ed.). **Nitrogen in crop production.** Madison: American Society of Agronomy, 1984. p.208-218.

SPOSITO, G. **The Chemistry of Soils.** New York: Oxford University Press, 1989. 277p.

WHITE, R. W. et al. Ohio guide for land application of sewage sludge. Columbus: Ohio State University, 1982. p. 2-16. (Extension Buletin, n. 598).

ZAPPI, M. K. **Influência do lodo de esgoto alcalinizado no pH do solo.** Curitiba, 1999. 27f. Monografia (Conclusão do Curso de Agronomia) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.